POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

INTEGRAZIONE DI GPS E GIS PER LA GESTIONE DEI SISTEMI DI TRASPORTO. APPLICAZIONE ALLA LINEA FERROVIARIA FNM MILANO-COMO

Relatore: Prof. Ing. Giorgio GUARISO

Tesi di Laurea di:

Daniele MARONI matr. 619488

Martina RINALDI matr. 621128

Anno Accademico 1998-1999

INDICE

4. ANALISI COMPARATA DI CINQUE APPLICAZIONI DI SISTEMI AVL IN CAMPO FERROVIARIO

PREMESSA

Nel settore della gestione dei sistemi di trasporto è nata da tempo l'esigenza di controllare in tempo reale flotte di veicoli in modo da rendere il servizio più efficiente. Questa attività necessita di *strumenti di misura della posizione* di ogni unità mobile, di un *sistema di elaborazione e visualizzazione delle informazioni* relative alla localizzazione della flotta sul territorio e di una *rete di comunicazione* tra i due elementi.

Storicamente la diffusione di tecnologie sempre più avanzate ha permesso di sviluppare diversi sistemi di posizionamento tra i quali citiamo le boe ottiche e a radiofrequenza che permettono di rilevare la posizione del veicolo quando questo passa nei punti di rilevamento dislocati lungo un percorso prestabilito.

Attualmente il sistema di gran lunga più promettente per la gestione di flotte in tempo reale è **l'Automatic Vehicle Location (AVL)** che integra la tecnologia di **posizionamento satellitare (GPS) con i sistemi informativi geografici (GIS).** Per localizzare la flotta vengono utilizzati dei ricevitori GPS, montati sui veicoli, che una volta calcolata la posizione inviano, attraverso un'apposita rete di comunicazione, i dati alla centrale di controllo che utilizza interfacce GIS per elaborare le informazioni e visualizzare le unità mobili sul territorio. Il sistema AVL è quindi l'insieme delle tre componenti schematizzate in figura 1. In Italia non esistono ancora applicazioni di tali sistemi in campo ferroviario.

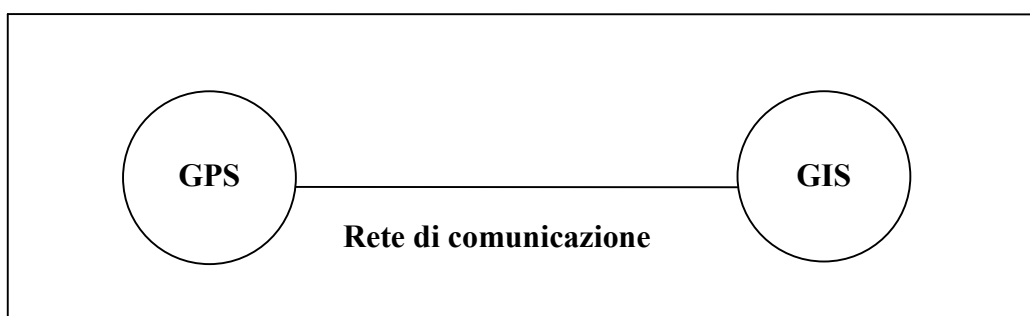



Figura 1 – Schema di sistema AVL per la localizzazione dei veicoli

Il progetto che presentiamo è un sistema AVL per la gestione di una flotta di treni sulla linea ferroviaria Milano-Como delle Ferrovie Nord Milano.

Nella tesi sono individuabili tre livelli, diversi per generalità:

- una descrizione dei sistemi AVL per la gestione di sistemi di trasporto,
- un'analisi comparata delle applicazioni di sistemi AVL nel campo del trasporto ferroviario,
- il progetto del sistema AVL per le Ferrovie Nord Milano.

Il primo livello è puramente di rassegna, mentre gli altri due contengono elementi di originalità.

Per quanto riguarda il progetto, l'enfasi è sulla realizzazione del GIS e sulla possibilità di distribuire informazioni via rete Internet, mentre gli aspetti più tecnici del sistema di posizionamento satellitare e della rete di comunicazione sono stati descritti in altri lavori (Ceppi e Vanoli, 1999) così come quelli di utilizzo del sistema per la gestione dei guasti alla trazione (Castiglioni e Romani, 1999)

La tesi è organizzata nel modo seguente.

Nel primo capitolo sono descritti i GPS con particolare attenzione alle problematiche del posizionamento veicolare e nel secondo i GIS e le loro applicazioni nel campo della pianificazione dei sistemi di trasporto. Nel terzo capitolo vengono descritti i sistemi AVL. Nel quarto capitolo viene effettuata una dettagliata analisi comparata di cinque applicazioni delle tecnologie GPS e GIS a sistemi di trasporto su rotaia. Da quest'analisi emerge come caso particolarmente interessante per la sua completezza quello della compagnia Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya. Nel quinto capitolo viene introdotta l'applicazione specifica al caso delle FNM. In particolare si descrivono le caratteristiche della linea, il sistema attuale di posizionamento, distanziamento e segnalamento e la centrale operativa. Nel sesto ed ultimo capitolo viene descritto il GIS che è stato realizzato. In particolare vengono evidenziati i vantaggi che le FNM trarrebbero dall'utilizzo di un sistema AVL completo di GIS diffuso anche sul Web e vengono illustrate tutte le caratteristiche e funzionalità implementate, dedicando attenzione ai tipi di mappe utilizzati alla qualità e provenienza dei dati e alle modalità particolari con è stata realizzata l'interfaccia GIS.

Per finire nelle conclusioni vengono illustrate le riflessioni critiche sul lavoro.

1

IL SISTEMA DI POSIZIONAMENTO SATELLITARE (GPS)

La tecnologia di posizionamento satellitare viene utilizzata per determinare la posizione di oggetti sul globo terrestre. I sistemi AVL fanno uso del GPS per posizionare in tempo reale i veicoli di una flotta. Nel primo paragrafo viene descritto il sistema GPS con le sue componenti, il segnale inviato dai satelliti in orbita intorno alla terra, i tipi di misure effettuate dagli utenti a seconda degli scopi applicativi, la precisione del servizio, con rapida rassegna di tutte le possibili cause di errore e la configurazione geometrica dei satelliti. Nel secondo paragrafo vengono descritti i tipi di ricevitori attualmente disponibili. Nel terzo paragrafo viene spiegato il sistema di posizionamento differenziale che si distingue da quello assoluto perché effettuato attraverso due ricevitori GPS anziché uno. Questo metodo permette di ottenere precisioni molto più elevate attraverso il confronto tra la misura di posizione di un punto con le coordinate reali e note del punto stesso. In questo modo è possibile calcolare l’errore compiuto dal ricevitore GPS ed utilizzarlo per correggere le altre misure. Nel quarto paragrafo viene descritto il sistema di riferimento delle misure GPS: l’ellissoide WGS84 e vengono spiegate le differenze con i sistemi di riferimento tipici della cartografia. Nel quinto paragrafo vengono spiegati i possibili vantaggi nell’utilizzare ricevitori Glonass/GPS che fanno uso della costellazione statunitense e russa. La nostra applicazione prevede infatti l’installazione sui locomotori delle FNM di ricevitori in grado di ricevere entrambi i segnali. Nel sesto ed ultimo paragrafo esponiamo il progetto Galileo che prevede la messa in orbita di satelliti europei.

1.1. Il servizio GPS

Il Sistema di Posizionamento Globale GPS, la cui denominazione completa è NAVSTAR GPS (**NAV**igation **T**iming **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem), è un sistema di navigazione e di posizionamento. E' basato sulla ricezione, da parte di apparecchiature appropriate, di complessi segnali, emessi da una costellazione di satelliti in navigazione intorno alla terra. Tali segnali permettono di ricavare informazioni relative alla distanza tra satellite e ricevitore e al tempo.

Ipotesi fondamentale sulla quale si basa il GPS è che la posizione dei satelliti nello spazio risulti nota istante per istante, in modo che, una volta ricavata la distanza satellite-ricevitore, sia possibile ottenere, mediante la soluzione di un sistema di almeno tre equazioni in altrettante incognite, le coordinate del punto in cui si trova il ricevitore. Nel caso più semplice il sistema risulterà composto dalle seguenti tre equazioni:

$$d^i = \sqrt{(x^i - x)^2 + (y^i - y)^2 + (z^i - z)^2} \qquad i = 1, 2, 3 \qquad (1)$$

dove

d^i = distanza tra satellite i e ricevitore (misurata)

x^i, y^i, z^i = coordinate dell'i-esimo satellite (note)

x, y, z = coordinate del ricevitore (incognite)

Le coordinate dei satelliti vengono rilevate con continuità da alcune stazioni terrestri opportunamente ubicate di cui si parlerà nella sezione 1.1.1.

Il NAVSTAR GPS, sviluppato a scopi militari negli USA, è in grado di fornire posizione e velocità del ricevitore a qualsiasi ora del giorno e della notte, in qualsiasi parte del mondo e indipendentemente dalle condizioni atmosferiche con modalità che verranno spiegate nel paragrafo 1.1.3. Tuttavia, per le vastissime potenzialità applicative, il sistema è stato usato anche a scopi civili, anche se la gestione della costellazione di satelliti è rimasta di competenza militare.

Per ovvi motivi di sicurezza il Ministero della Difesa degli USA si riserva la possibilità di degradare intenzionalmente la precisione del servizio fornito ad alcuni utenti (non

autorizzati): una nazione ostile potrebbe usare il GPS per guidare missili su postazioni strategiche avversarie. Più precisamente i livelli di servizio offerti dal GPS sono due:

- PPS, Precise Positioning Service, per l'uso militare;
- SPS, Standard Positioning Service, per l'uso civile;

Il progetto GPS nacque nel Luglio1960 quando il Dipartimento della Difesa USA costituì la Aerospace Corporation, per applicare i risultati scientifici più recenti ai sistemi spaziali, a vantaggio della sicurezza nazionale. Dal '78 al'85 furono messi in orbita i satelliti del BLOCCO1:11 satelliti, di cui solo 6 operativi; questi ultimi risultano distribuiti su due piani orbitali inclinati di 63° rispetto al piano equatoriale e ad una distanza di circa 20.000 km dalla superficie terrestre (Monti, 1997). Nel 1989 iniziò il lancio dei satelliti del BLOCCO2, portato a termine nel '93, e comprende 18 satelliti operativi e 3 di scorta. I piani orbitali presentano un'inclinazione di 55° (per la generazione di satelliti del BLOCCO2) relativamente al piano equatoriale e una massima altezza orbitale di 20.200 km (Ruggiero, 1997). La realizzazione di questo progetto fu possibile grazie ad alcune innovazioni tecnologiche, tra cui la possibilità di lanciare in orbita satelliti artificiali, e l'esistenza di orologi atomici molto precisi a prezzi sempre più bassi. Tali orologi hanno permesso l'assegnazione di un'unica ora a tutti i satelliti detta Ora Mondiale.

1.1.1. Componenti del sistema

Il sistema satellitare è composto da tre parti dette segmenti principali: il segmento spaziale, il segmento di controllo ed il segmento utente (vedi figura 1.1).

Il segmento spaziale (Monti, 1997) comprende 21 satelliti, di cui 18 attivi e 3 di scorta, disposti su sei orbite inclinate di 55° sull'equatore e distanziate ciascuna di 60° in longitudine. Ciò garantisce che da ogni punto della terra siano sempre visibili almeno quattro satelliti attivi. Ogni satellite completa la propria orbita approssimativamente in 12 ore, il che comporta che, per un osservatore terrestre, un satellite si ripresenti nello stesso punto della volta celeste dopo un periodo di circa 24 ore.

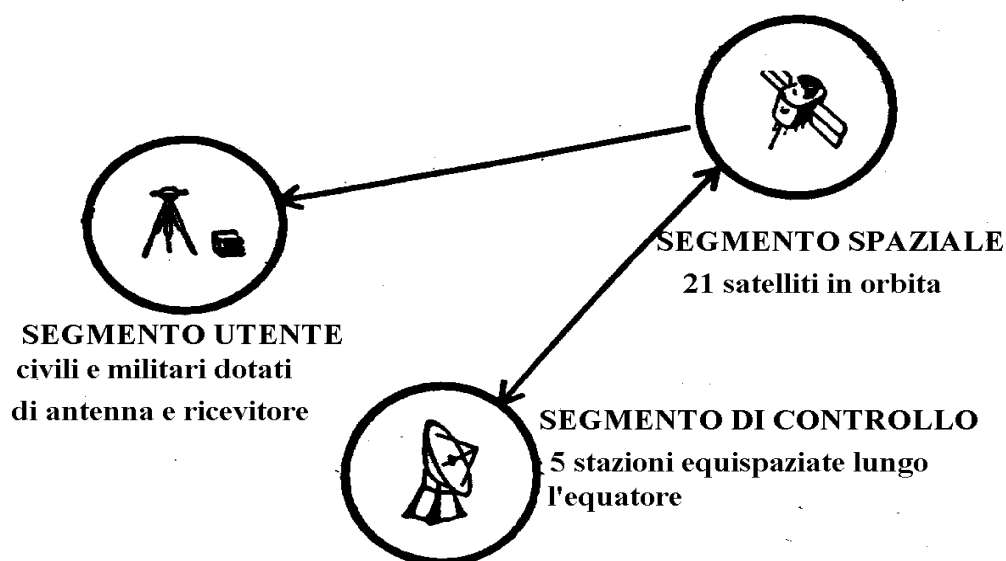



Figura 1.1 - I tre segmenti che compongono il GPS

I satelliti trasmettono un segnale elettromagnetico con continuità su due frequenze distinte L_1=1575.42MHz ed L_2=1227.6MHz. Tali frequenze sono modulate, attraverso il codice P (Precision code) e la frequenza L_1 è modulata anche attraverso il codice C/A (Coarse/Aquisition code). A questi due codici viene sovrapposto il messaggio di Navigazione, NAV-msg, che contiene informazioni sullo stato del sistema e dati utili per le correzioni atmosferiche e per la previsione dell'orbita.

Le principali funzioni del segmento spaziale sono:

- trasmettere informazioni utili agli utenti attraverso l'invio di segnali,
- ricevere e memorizzare le informazioni trasmesse dal segmento di controllo;
- eseguire manovre di correzione dell'orbita;
- mantenere un segnale di tempo molto accurato utilizzando i quattro oscillatori montati a bordo di ogni satellite.

Il segmento di controllo è composto da una Stazione di Controllo sita a Colorado Springs, USA, da cinque Stazioni di monitoraggio una a Colorado Springs, le altre allocate lungo l'equatore (vedi figura 1.2) e da tre antenne terrestri che consentono la comunicazione con i satelliti.

Figura 1.2 - Le stazioni di Controllo e Monitoraggio

Le Stazioni di Monitoraggio ricevono in continuo segnali dai satelliti, collezionano dati sulla posizione spaziale e sugli orologi di ogni satellite. Effettuano misure metereologiche e inviano tutte le informazioni alla Stazione di Controllo. Qui dall'analisi di tutti i dati, si ricavano le effemeridi trasmesse, che consentono di prevedere la posizione del satellite nei futuri 15 minuti, e i fattori correttivi degli orologi. Questi ultimi, infatti, pur essendo molto precisi hanno delle leggere instabilità che causano piccoli ritardi. Quindi i messaggi elaborati dalla Stazione di Controllo vengono trasmessi dalle antenne terrestri ai rispettivi satelliti, i quali inviano un segnale di conferma ricezione dati attraverso il NAV-msg. Le istruzioni e i messaggi prodotti dalle elaborazioni della Stazione di Controllo andranno a costituire una parte essenziale del segnale inviato a terra dai satelliti.

Il segmento utente è costituito da ricevitori dotati di antenna. A seconda che il ricevitore sia fisso o in movimento, il calcolo della posizione viene effettuato con modalità diverse: modalità statica nel primo caso e modalità cinematica nel secondo.

1.1.2. Il segnale GPS

Ogni satellite trasmette in continuo un segnale elettromagnetico su due frequenze, L_1 e L_2, entrambe multiple della frequenza fondamentale f_0=10.23MHz degli oscillatori atomici di bordo, con lunghezza d'onda rispettivamente di 19.05 e 24.45 cm. La scelta di utilizzare due frequenze si spiega col fatto che nell'attraversare la ionosfera il segnale subisce perturbazioni diverse a seconda della frequenza del segnale stesso: utilizzando due frequenze si possono valutare gli effetti del ritardo del segnale.

Le due onde portanti vengono poi modulate mediante due codici: C/A (Course Acquisition), P (Precise). Entrambi sono sequenze pseudocasuali di +1 –1 che si ripetono dopo un tempo prestabilito, il codice C/A con frequenza pari a 1/10 f_0 si ripete una volta ogni millisecondo, mentre il codice P una volta ogni 267 giorni ed ha frequenza pari a f_0.

Il codice C/A, diverso per ogni satellite in modo da consentirne l'individuazione, trasmesso sul canale L_1, è stato ideato per scopi di posizionamento grossolano. E' dedicato a tutte le applicazioni civili convenzionali raccolte sotto la dicitura SPS. La precisione di questo servizio dipende dalla Selective Availability (SA con cui il Dipartimento delle Difesa degli USA degrada la qualità del segnale ad uso civile dal 1994) e attualmente gli errori quadratici medi di posizionamento mediante SPS sono (Baj, 1999):

- 60m, posizione nelle spazio,
- 50 m, posizione orizzontale,
- 80 m, quota.

Il codice P consente ai ricevitori abilitati, quelli militari, di determinare la propria posizione in modo più preciso, con errori quadratici medi di:

- 8 m posizione nello spazio,
- 9 m posizione orizzontale,
- 14 m quota.

Il Dipartimento delle Difesa degli Stati Uniti ha stabilito che in tempo di pace gli effetti della SA ridurranno l'accuratezza dello SPS a 100 m nel 95% dei casi di posizionamento bidimensionale che corrisponde ad un'accuratezza tridimensionale di

circa 76 m nel 50% dei casi contro quella PPS di 16 m nel 50% dei casi (Ruggiero, 1996).

Entrambi i codici infatti permettono all'utente di calcolare la distanza terra-satellite, ma dato che solo il codice P compare su entrambe le frequenze, L_1 e L_2, solo gli utenti autorizzati possono effettuare una duplice comparazione in frequenza per compensare il ritardo di propagazione dovuto alla ionosfera.

Esiste in realtà un terzo codice detto D (Data code) trasmesso su entrambe le portanti. E' un codice binario strutturato in modo tale da fornire il Messaggio di Navigazione, che contiene le informazioni sugli errori degli orologi di bordo, le effemeridi del satellite da cui proviene il segnale, l'almanacco, il modello ionosferico e le correzioni per la sincronizzazione degli orologi satellitari.

1.1.3. Le misure

Il segnale inviato dal segmento spaziale, generato da quattro oscillatori ad alta precisione montati su ogni satellite, viene captato dal ricevitore GPS, che ne effettua una replica al momento della ricezione, attraverso un oscillatore interno. Il ricevitore può effettuare due tipi di misure: misure di pseudorange e misure di fase.

Una misura di pseudorange, generalmente utilizzata per la navigazione, è la distanza satellite-ricevitore ottenuta misurando il tempo necessario al segnale per giungere dal satellite alla stazione di ricezione moltiplicandolo poi per la velocità di propagazione del segnale o velocità della luce. Operativamente si misura l'intervallo di tempo necessario per allineare il codice generato dal ricevitore con quello generato dal satellite, si calcola cioè di quanto deve essere traslata, sull'asse dei tempi, la replica del segnale per sovrapporsi esattamente al codice originario. Il segnale viene emesso dal satellite al tempo $t=t_e$, letto sull'orologio satellitare, mentre la replica avviene al tempo di ricezione del segnale cioè al tempo $t=t_r$, letto sull'orologio del ricevitore, la differenza tra questi due tempi, rappresenta proprio una misura del tempo che il segnale impiega a percorrere la distanza satellite terra a meno di una costante. Il prodotto di questo intervallo per la velocità della luce, è detto pseudorange: esso misura, non solo la distanza incognita, ma contiene anche errori sistematici che andranno corretti, come descritto più avanti nella sezione 1.1.4.2.

L'equazione di pseudorange assume la forma:

$$p^i = c \cdot \Delta T^i = d^i + c \cdot (dt - dT) \qquad i = 1, 2, 3, 4, \qquad (2)$$

dove

p^i = pseudorange tra satellite i e ricevitore

c = velocità della luce

ΔT^i = sfasamento di tempo tra satellite i e ricevitore

d^i =distanza spaziale tra satellite i e ricevitore

dt = sincronizzazione tra il tempo del satellite e l'origine

dT = sincronizzazione tra il tempo del ricevitore e l'origine

Ogni satellite osservato genera un'equazione del tipo (2); teoricamente, nel caso più semplice, per calcolare la posizione del ricevitore, basterebbero tre equazioni in altrettante incognite e quindi tre satelliti. In realtà per ragioni di non sincronizzazione tra gli orologi satellitari e terrestri le incognite sono quattro e non tre. La distanza satellite-ricevitore viene infatti calcolata tramite la lettura del tempo sugli orologi dei due gruppi, facendo l'ipotesi che i quattro orologi (uno terrestre e tre satellitari) siano perfettamente simultanei. In realtà non lo sono affatto e mentre gli orologi dei satelliti possono essere considerati adeguatamente sincronizzati ciò non è possibile per il ricevitore. Nasce così l'esigenza di introdurre come ulteriore incognita lo sfasamento (offset) tra i due gruppi di orologi. Il ricevitore dovrà essere sempre in grado di agganciare quattro satelliti contemporaneamente per poter generare quattro equazioni di distanza e ricavare le coordinate spaziali desiderate, nonché l'offset temporale.

La posizione del ricevitore viene calcolata in tempo reale dal controller del ricevitore, in seguito all'osservazione simultanea di almeno quattro satelliti. I dati captati possono anche essere memorizzati e processati in un secondo tempo (modalità di post-processamento) con il vantaggio che gli errori sistematici potranno essere parzialmente rimossi attraverso modellizzazione analitica. Le precisioni che si ottengono con questo tipo di osservabile dipendono dal codice sul quale viene effettuata la misura (Monti, 1997):

- nel caso di codice C/A l'incertezza nel posizionamento è dell'ordine di 30 m (che possono salire a 100 m nel caso di SA);
- nel caso do codice P l'incertezza nel posizionamento è di circa 3-5 m.

L'affidabilità del posizionamento aumenta all'aumentare del numero di satelliti agganciati dal ricevitore: nel caso in cui fossero più di quattro sarebbe possibile, sia in tempo reale che in post-processamento, ricavare la soluzione che minimizza gli scarti delle singole equazioni.

Alternativamente viene misurata la differenza di fase tra la portante demodulata del satellite e quella del ricevitore, ottenuta mediante replica. Lo sfasamento così misurato rappresenta, a meno di un numero intero di lunghezze d'onda, la distanza cercata (vedi equazione 3)

$$d = k \cdot \lambda \tag{3}$$

dove k rappresenta il numero di cicli intercorsi tra i due estremi e λ rappresenta la lunghezza d'onda.

Con questo metodo occorre introdurre un'ulteriore incognita, che rappresenta il numero di cicli iniziali , cioè quelli avvenuti prima che la due onde fossero in fase. Il calcolo di questa incognita, ambiguità intera di fase, ha fino ad oggi penalizzato l'utilizzo delle misure di fase in tempo reale. La precisione delle misure di fase è assai superiore a quelle di pseudorange, teoricamente circa 2 mm, per questo le misure di fase sono più utilizzate nel campo del rilievo.

Esistono procedimenti intermedi, che effettuano misure sia di pseudorange che di fase ed utilizzano la prima, per calcolare l'ambiguità di fase e la seconda, per il calcolo della posizione. La precisione ottenibile risulta essere intermedia.

1.1.4. La precisione del servizio GPS

Il posizionamento mediante GPS offre due livelli di precisione (De Giusti, 1998):

- L'SPS garantisce un'accuratezza di posizionamento orizzontale di 100 m nel 95% dei casi e di almeno 300 m nel 99,9%; in verticale l'accuratezza è di 140 m nel 95% dei casi.

- Il PPS rende disponibile un posizionamento più accurato e permette un errore massimo compreso fra 10 e 20 m orizzontalmente, tra 20 e 30 m in verticale.

La precisione ottenuta è però affetta oltre che da errori di misura anche da:

✓ errori sistematici;

✓ errori accidentali.

I primi, di entità superiore rispetto ai secondi, costituiscono il reale problema che impedisce il raggiungimento delle massime potenzialità offerte dal sistema GPS; per questo motivo vanno eliminati o perlomeno minimizzati.

1.1.4.1. Errori sistematici

- Errori dovuti all'imprecisione degli orologi

L'errore dell'orologio satellitare, dovuto ad una leggerissima instabilità, può indurre ad un errore compreso tra 1-3 m (Monti,1997). L'errore sulla distanza, dovuto agli orologi dei ricevitori, varia tra 10 e 100 m a seconda della qualità del ricevitore (Monti, 1997).

- Errori d'orbita dei satelliti

La posizione dei satelliti, data in base alle effemeridi trasmesse, è affetta da errore. Queste, infatti, vengono calcolate al Centro di Controllo in base ai dati registrati nelle Stazioni di Monitoraggio e rinviate ai satelliti attraverso le antenne terrestri. Attualmente l'errore è dell'ordine dei 10 m, ma a questo va aggiunta una degradazione supplementare delle effemeridi, generata dall'ente gestore del sistema (SA), che, nel caso di uso civile, si ripercuote sulle coordinate della stazione a terra con un errore di circa 100 m (Monti, 1997).

- Errori dovuti alla ionosfera

L'errore che la propagazione nella ionosfera può introdurre, arriva a raggiungere, nei casi peggiori i 30 m (De Giusti, 1998). Questo è il caso di tempeste solari in corso o elevato numero di macchie solari, oppure quando il sole è esattamente davanti all'antenna del ricevitore Valori tipici sono dell'ordine dei 4-10 m ed in genere questi errori sono eliminabili dal 50% al 75% applicando un corretto modello ionosferico (De Giusti, 1997).

- Errori dovuti alla troposfera

Questo errore è dovuto alla rifrazione dell'atmosfera e dipende dalla stratificazione dell'aria secca e del vapor d'acqua. Ciò introduce un errore che, se non corretto, provoca imprecisioni di 2-3 m, tuttavia il modello di correzione è semplice e quindi nella pratica non vengono introdotti errori determinanti (De Giusti, 1997). L'errore residuo, praticamente non eliminabile, a meno che non si conoscano esattamente i profili stratigrafici di umidità e pressione, è causa di errori variabili da 1 a qualche decina di centimetri, che impediscono di raggiungere le potenzialità del metodo di posizionamento satellitare.

- Errore nel ricevitore utenti

Principalmente generato da due contributi:
interferenza tra loro dei segnali agganciati dal ricevitore, errore di intermodulazione
interferenza con il rumore atmosferico e termico presenti nell'ambiente circostante, errori casuali.

- Errore dovuto alla disponibilità selettiva (SA)

Si tratta dell'errore che il Dipartimento della Difesa USA si riserva di poter generare in talune circostanze. Esistono due metodi per realizzare tale deterioramento: introducendo errori di orologio, diminuendo cioè la precisione dei parametri di correzione, ed errori nelle effemeridi trasmesse dai satelliti.

- Anti-Spoofing

Si tratta di una tecnica che permette di crittografare la modulazione del codice P in modo da renderlo accessibile ai soli utenti autorizzati

1.1.4.2. Errori accidentali

Errore per cammini multipli

Questo tipo di disturbo è causato dalle riflessioni che il segnale subisce da parte della superficie terrestre e degli oggetti circostanti. Nella pratica si è riscontrato che l'imprecisione introdotta è minore di quella teorica e comunque inferiore al metro.

1.1.4.3. La configurazione geometrica del sistema satellitare

L'accuratezza complessiva del posizionamento dipende, oltre che dalla precisione delle misure nelle quali intervengono gli errori sistematici, anche dalla configurazione geometrica dei satelliti rispetto al ricevitore. La stima della posizione è tanto più precisa quanto maggiori sono le differenze di cammino dei segnali provenienti dai satelliti in vista. La configurazione ideale è quella in cui un satellite si trova sulla verticale del ricevitore e gli altri satelliti utilizzati sono tutti distanti 120° in azimut, come mostrato in figura 1.3.

Si è definito un indice detto DOP (Diluition of Precision), che rappresenta il contributo della configurazione geometrica sull'accuratezza del posizionamento. Tale indice risulta inversamente proporzionale al numero di satelliti utilizzati e al volume del solido avente per vertici i satelliti collegati alla stazione a terra : quindi a valori bassi di DOP corrisponde una situazione favorevole.

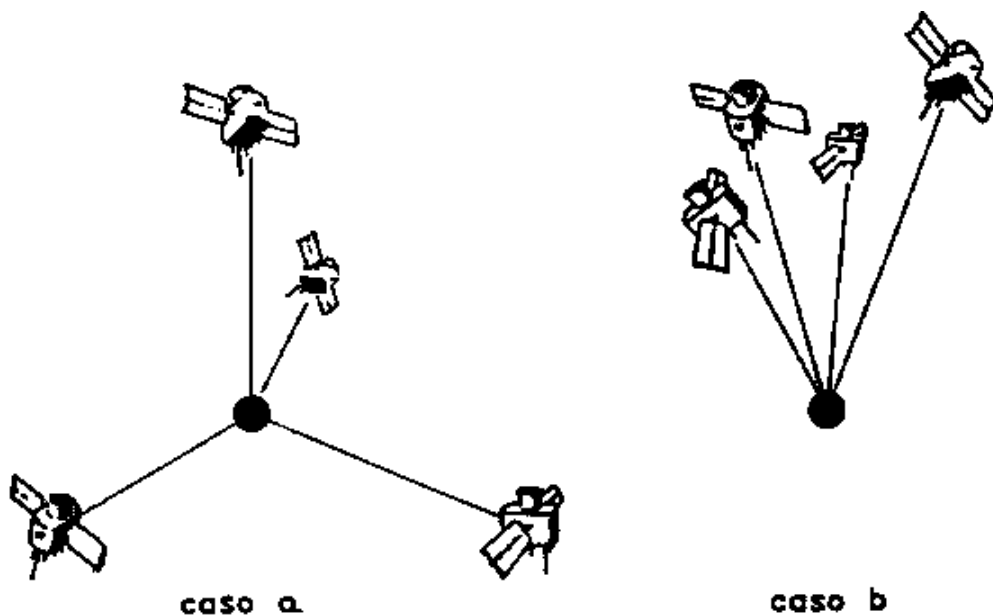



Figura 1.3 - Configurazione geometrica dei satelliti. La figura a mostra una configurazione satellitare favorevole con indice DOP basso mentre la figura b mostra una condizione sfavorevole con satelliti molto raccolti con indice DOP elevato

La precisione del posizionamento risulta circa uguale al DOP per la precisione delle misure della distanza terra-satellite
(vedi equazione 4).

$$\sigma = DOP \cdot \sigma_0 \quad (4)$$

dove
σ = precisione del posizionamento
σ_0 =precisione delle misure
DOP =Diluition of precision

1.2. Tipi di ricevitori GPS

Il ricevitore GPS è composto da un'antenna e dal ricevitore stesso (una "scatola") che collegato ad un controller è in grado di fornire le coordinate del punto desiderato. Esistono sostanzialmente tre tipi di ricevitori (Ruggiero, 1996).

I ricevitori a tracciamento sequenziale tracciano i necessari quattro satelliti con uno o due canali hardware. L'insieme dei satelliti sarà tracciato uno alla volta combinando le misure così ottenute soltanto dopo l'acquisizione dei dati di tutti e quattro. Gli strumenti di questo tipo sono economici, ma forniscono prestazioni modeste.

I ricevitori a tracciamento continuo presentano almeno quattro canali hardware per tracciare altrettanti satelliti contemporaneamente. Essi sono più costosi e complessi dei precedenti, ma forniscono prestazioni migliori. Un ricevitore con un numero di canali hardware superiore a quattro, utilizza i canali in eccedenza per leggere il messaggio spaziale, Nav-message, di altri satelliti e per minimizzare gli errori dovuti alla propagazione del segnale nella ionosfera. Oggi esistono ricevitori a 24 canali.

I ricevitori multiplexati hanno un solo canale hardware che viene fatto commutare molto rapidamente (circa ogni 5 ms) tra i satelliti che si stanno tracciando, collezionando continuamente dati.

Il ricevitore risulta spesso collegato ad ulteriori sistemi. Questo collegamento quando esiste prende il nome di istanza NMEA (National Marine Electronics Association) e veicola principalmente informazioni sulla posizione, velocità e tempo in codice ASCII.

1.3. Posizionamento relativo cinematico: il DGPS

Buona parte degli errori sistematici può essere eliminata qualora si operi con procedimento differenziale, utilizzando cioè due ricevitori, di cui uno fisso a terra e l'altro fisso o mobile, in modalità DGPS (Differential Global Positioning System) come mostrato in figura 1.4. In sostanza questo metodo, detto di posizionamento relativo, consente attraverso procedure di differenziazione di eliminare quasi del tutto le incertezze delle orbite, gli errori di rifrazione e degli orologi.

Uno dei due ricevitori viene installato in posizione fissa, di cui si conoscono esattamente le coordinate: è così possibile conoscere sia la posizione esatta sia quella approssimata fornita dal ricevitore fisso (stazione di riferimento). Dalla differenza delle due posizioni è possibile stimare l'errore fra distanza satellite-ricevitore misurata e distanza esatta, per ogni satellite in vista. Tutti gli utenti in grado di disporre di questa informazione, generalmente trasmessa in formato RTCM attraverso un canale di comunicazione alla stazione mobile, riescono ad ottenere un'elevata precisione. Il sistema DGPS permette di conoscere in tempo reale le coordinate spaziali con una precisione di circa 1 m.

Questa tecnica è valida solo in una zona limitata nei dintorni della stazione fissa, più precisamente finché il modello ionosferico della tratta satellite-ricevitore è simile a quello della tratta ricevitore differenziale-satellite e finché i satelliti agganciati sono gli stessi per entrambi i ricevitori, in parole povere finché i ricevitori sono nella stessa zona. La tolleranza può quantificarsi in un centinaio di chilometri.

Tali limitazioni hanno permesso l'autorizzazione all'uso civile del DGPS perché il suo carattere locale non ne consente un utilizzo a scopi militari. Utilizzando il semplice sistema GPS, l'errore di 100 m che si può verificare rende impossibile la navigazione in zone in cui sia necessaria elevata precisione (ad esempio durante le manovre di avvicinamento ai porti o agli aeroporti, o durante la guida su strada), mentre con la correzione differenziale l'errore può diventare trascurabile.

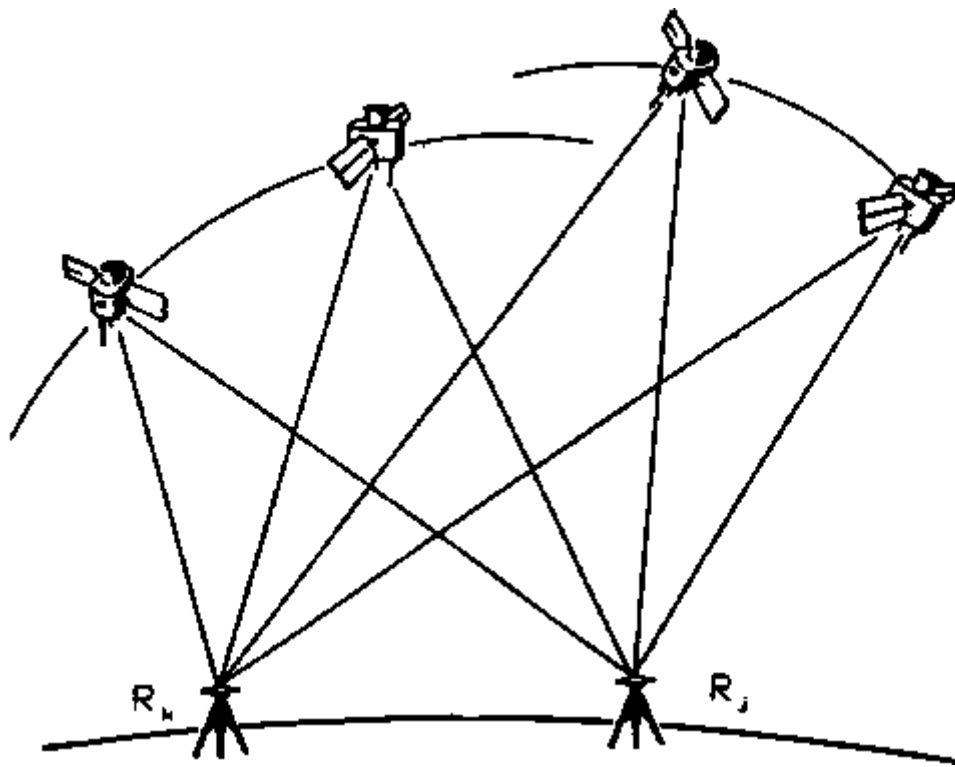



Figura 1.4 - GPS differenziale: due ricevitori R_i e R_j

1.3.1. Componenti hardware del DGPS

La stazione fissa deve essere equipaggiata con un ricevitore GPS dotato di antenna e controller, ma quest'ultimo dovrà essere dotato di software particolare: in grado di generare un messaggio RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) contenente le informazioni di correzione. Il messaggio viene trasmesso su un canale di comunicazione dal ricevitore fisso a quello mobile, dopo essere stato convertito in un segnale da un modem. Il canale è ad una sola via per cui la stazione di riferimento trasmette solamente mentre la stazione mobile può solo ricevere. Il ricevitore in movimento dovrà essere a sua volta dotato di antenna GPS e di un controller con software che gli consenta di ricevere il messaggio RTCM, di effettuare le correzioni ai dati e rendere disponibili all'utente le coordinate.

La trasmissione del messaggio avviene via radio quindi a seconda della distanza di trasmissione da coprire, si usano per il DGPS le bande radio UHF o VHF, in zone dotate di ripetitori che corrispondono generalmente a zone urbane, una linea cellulare di tipo commerciale o addirittura in casi particolari, come per i vascelli islandesi, satelliti Inmarsat Standard-C. Questi ultimi sono in grado di coprire la comunicazione su scala mondiale.

Oggi il posizionamento in modalità DGPS può avvenire anche in assenza della stazione fissa (il messaggio di correzione viene infatti inviato da alcuni satelliti geostazionari privati come Omnistar e Landstar della Racal) ma ogni utente, per poter usufruire del servizio, deve pagare un canone (circa tre milioni di lire all'anno nel 1999, per ricevitore).

In Europa alcune nazioni hanno dotato il proprio territorio di ricevitori fissi posizionati in modo tale da garantire la copertura regione per regione di tutta la nazione. Il sistema di diffusione di correzioni differenziali denominato RASANT nato in Germania nel 1994, è stato poi installato in Spagna, Portogallo e Francia. Tale sistema viene usato anche per trasmettere correzioni via radiofaro per garantire un miglior servizio alla navigazione costiera. Il messaggio di correzione viene inviato via radio su banda RDS in modulazione di frequenza (FM).

In Italia sarà presto disponibile per usi civili il sistema di telecomunicazioni militari Sical, che dietro pagamento di un canone, potrà diffondere le correzioni differenziali della rete nazionale italiana di stazioni DGPS.

Tali servizi consentono di utilizzare il posizionamento relativo senza dover installare due ricevitori, garantendo così una precisione accettabile su tutto il territorio.

1.4. La georeferenziazione

La posizione di un punto sulla Terra viene espressa rispetto ad una superficie di riferimento, che sostituisce la superficie reale terrestre troppo complessa ed irregolare nella sua forma, per essere facilmente modellizzata ed espressa attraverso semplici equazioni matematiche. Le superfici di riferimento più spesso utilizzate sono quelle della sfera, dell'ellissoide e del geoide (Malagoli, 1997). Le prime due hanno una

definizione puramente geometrica: l'ellissoide risulta essere molto simile all'effettiva forma della Terra e matematicamente trattabile, la sfera ancora più semplice nella sua equazione risulta però meno simile alla Terra. Il geoide ha invece una definizione fisica: rappresenta la superficie normale alle forze di gravità rapportate al livello del mare, ma non risulta matematicamente trattabile.

Il posizionamento mediante GPS adotta come sistema di riferimento il sistema globale WGS84 (World Geodetic System), nato grazie ad accordi internazionali che ne stabiliscono le caratteristiche a livello mondiale. Il sistema di riferimento WGS84, mostrato in figura 1.5, si riferisce ad un ellissoide geocentrico con le seguenti caratteristiche:

- origine nel centro di massa della terra, il che comporta che ellissoide e geoide abbiano il centro coincidente;
- asse Z parallelo alla direzione definita dal polo convenzionale terrestre;
- asse X dato dall'intersezione del piano equatoriale, ortogonale all'asse Z, col piano meridiano di Greenwich;
- asse Y che completa la terna cartesiana destrosa.

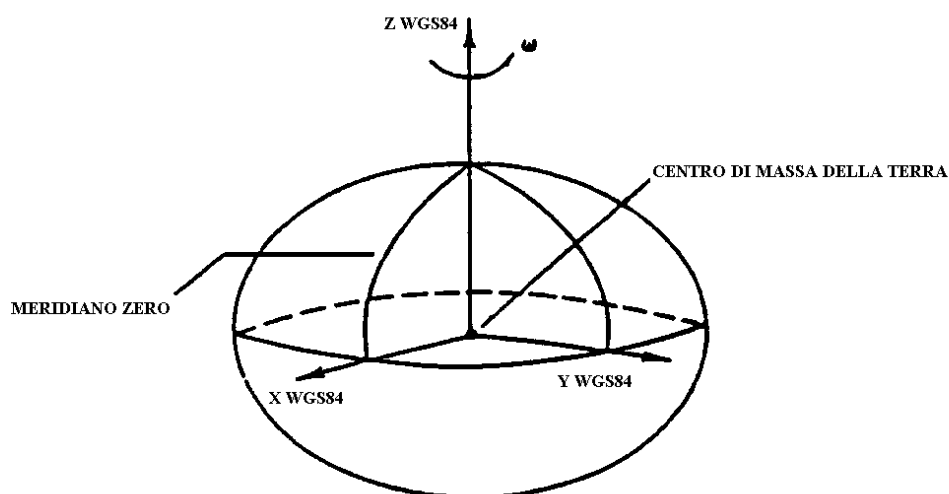



Figura 1.5 - Il sistema di riferimento globale WGS84

In geodesia satellitare le coordinate sono per loro natura globali, geocentriche e tridimensionali, poiché il moto dei satelliti fa riferimento al centro di massa della Terra. Possono essere espresse sia in coordinate cartesiane X,Y,Z, che in coordinate ellissoidiche φ, λ, h (latitudine, longitudine ed altezza sull'ellissoide), tutte riferite ad un unico sistema di riferimento, il WGS84. Modificando l'ellissoide o il centro di emanazione o di orientamento dell'ellissoide, (punto in cui la normale ellissoidica coincide con la verticale geoidica), le coordinate dei punti subiscono forti variazioni.

Il sistema di riferimento nel quale sono inquadrate le coordinate dei punti stimati con metodi geodetici e topografici classici (non attraverso GPS) è di tipo ibrido: ellissoidico per la planimetria e geoidico per le quote. Nel contesto classico sono infatti definiti due sistemi di riferimento uno planimetrico riferito ad un ellissoide locale, che non risulta più geocentrico pur conservando l'asse Z parallelo a quello di rotazione, ed uno altimetrico riferito al geoide. Storicamente ogni nazione ha costituito la propria rete di inquadramento definendo un sistema di riferimento locale: mentre il geoide, per la sua stessa definizione resta uguale per tutti, l'ellissoide può essere orientato e dimensionato a piacimento. Ogni nazione ha scelto un diverso centro di emanazione, ed ha assegnato parametri diversi in modo che l'ellissoide risultasse il più possibile conforme alle caratteristiche locali.

La definizione di superfici di riferimento uniche per tutta la terra è stata in passato di scarso interesse e di difficile realizzazione, senza l'ausilio dei satelliti GPS, a causa del carattere locale delle tecniche di rilievo classiche (Surace, 1998).

Oggi il problema è quello di definire una relazione tra i vari sistemi di riferimento. Ciò risulta alquanto semplice per quanto riguarda la planimetria: si tratta di avere le coordinate di alcuni punti nei due sistemi di riferimento per stimare i sette parametri delle trasformazioni tra ellissoidi (3 per la traslazione, 3 per la rotazione ed 1 come fattore di scala).

Per quanto riguarda invece l'altimetria tutto risulta più complesso perché il sistema GPS fa riferimento all'ellissoide mentre le livellazioni classiche fanno riferimento al geoide. Le due superfici distano di una quantità N, mostrata in figura 1.6, denominata ondulazione del geoide, quantità che viene stimata su scala globale e poi raffinata su

scala locale, così che esiste un'incertezza che dipende dalla "bontà" dei modelli locali disponibili.

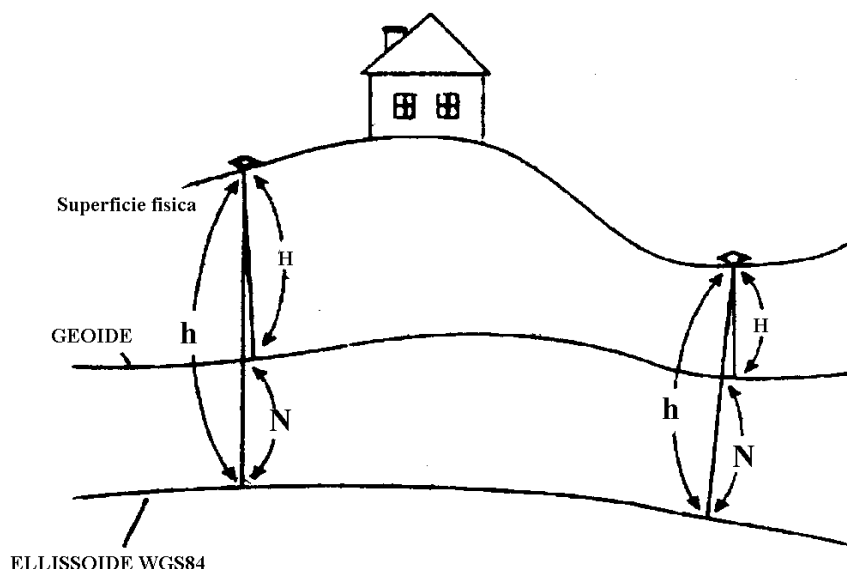



Figura 1.6 – In figura N corrisponde all'ondulazione del geoide, che varia da zona a zona, H è la quota ortometrica del punto riferita al geoide e h è la quota ellissoidica del punto

Una volta ottenute le coordinate spaziali locali (rispetto all'ellissoide locale) X,Y,Z, il passaggio alle coordinate cartografiche dipende solo dalla proiezione cartografica scelta. La cartografia ha infatti lo scopo di rappresentare sul piano zone e punti della superficie effettiva, riportati sull'ellissoide. Si stabilisce quindi una corrispondenza biunivoca tra ogni punto dell'ellissoide ed il piano mediante relazioni analitiche espresse dalle equazioni della carta. Durante il processo di proiezione dei dati tridimensionali su carta vengono introdotti degli errori, ed anche con proiezioni molto accurate si introducono distorsioni di almeno una delle caratteristiche geografiche: forma, area, direzione, distanza. Ne consegue che non esiste una proiezione preferibile in assoluto a tutte le altre, la scelta dipende dall'uso a cui è destinata la carta e dalla particolare zona che si deve rappresentare.

Una delle proiezioni più usate a livello europeo è quelle di Gauss, chiamata in Italia di Gauss Boaga, in Germania Gauss Kruger e nei paesi anglosassoni UTM (Universal Transverse Mercator) Projection. Ad ogni proiezione viene poi associato un sistema di riferimento per il calcolo delle coordinate ad esempio il sistema UTM utilizza "spicchi" predeterminati di 6° in latitudine, chiamati fusi, con un sistema di coordinate ortogonali all'interno di ogni fuso, nella Gauss Boaga il riferimento è il meridiano passante per Monte Mario (a Roma) e vengono usate coordinate chilometriche.

Ottenute le coordinate spaziali riferite al sistema globale WGS84, per ricavare le coordinate cartografiche sono quindi necessarie alcune trasformazioni:

- Passaggio da coordinate ellissoidiche globali a coordinate cartesiane globali sempre nel sistema WGS84.
- Applicazione alle coordinate della rototraslazione per passare dal sistema WGS84 globale al sistema geodetico locale.
- Eventuale passaggio dalle coordinate cartesiane locali alle coordinate ellissoidiche locali.
- Passaggio dalle coordinate spaziali a coordinate cartografiche nella rappresentazione conforme di Gauss Boaga.

Il GPS si è diffuso in Italia grazie al lavoro svolto dall'Istituto Geografico Militare Italiano e dalle iniziative di molti Istituti Universitari e dall'Amministrazione Catastale. Come si è detto la cartografia italiana, che dal 1948 ha adottato la proiezione conforme di Gauss, è riferita ad un ellissoide locale orientato a Monte Mario, che è il punto fondamentale di emanazione della rete geodetica italiana.

Per conformità alla rappresentazione UTM, invece, il territorio nazionale è contenuto in fusi di ampiezza di 6° in longitudine e quindi diviso in due soli fusi: quello Ovest e quello Est. Il primo si estende fra i 6° e i 12° e 30' di longitudine Est di Greenwich, con meridiano centrale a 9°, il secondo si estende fra 12° e 18° e 30' di longitudine a Est di Greenwich, con meridiano centrale a 15°. Ad ognuno dei due fusi corrisponde un diverso sistema di riferimento per cui i dati appartenenti ad uno non risultano omogenei con l'altro. Per rendere possibile il calcolo delle relative posizioni è

stata prevista una zona di sovrapposizione all'interno della quale le coordinate dei punti vengono calcolate rispetto ad entrambi i sistemi di riferimento, Est ed Ovest.

Oggi in Italia risulta essere completa le rete geodetica IGM95, una rete di vertici noti con elevata precisione nel sistema WGS84, che facilita la determinazione dei parametri necessari alle trasformazioni da coordinate globali a coordinate locali, cioè dal sistema WGS84 al sistema locale nazionale italiano ROMA40.

Tutto questo consente il rapido diffondersi dalle metodologie di posizionamento satellitare, che garantiscono oggi livelli di precisione accettabili, che con gli anni andranno sempre migliorando, e consentono l'unificazione a livello mondiale dei sistemi di riferimento.

1.5.Uso combinato di GPS e GLONASS

Il GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), realizzato dall'ex Unione Sovietica, è un sistema di radio navigazione satellitare che permette agli utenti la determinazione della propria posizione sul globo terrestre. Il sistema di riferimento in questo caso non è il sistema WGS84, ma il Parametry Zemil 1990 System. Il Glonass è analogo al sistema di posizionamento satellitare statunitense, con il quale divide gli stessi principi nella trasmissione dei dati e la stessa metodologia per il posizionamento. Anche questo sistema è composto da un segmento spaziale, che comprende una costellazione di 24 satelliti, da un segmento di controllo che ha il compito di calcolare la posizione dei satelliti della costellazione, di controllare lo stato di funzionamento, di fornire loro i dati di effemeridi e di determinare l'offset tra gli orologi dei satelliti ed il tempo Glonass e da un segmento utente con scopi militari e civili.

Analogamente a quanto avviene per il sistema statunitense non è permesso l'utilizzo del codice PPS (Precise Position Service) senza l'autorizzazione del Ministero della Difesa Russo, ma il servizio SPS (Standard Position Sistem) non risulta affetto da nessun degrado intenzionale.

Con l'attuale presenza sul mercato di ricevitori combinati Glonass/GPS gli utenti hanno a disposizione un sistema con un numero potenziale di 48 satelliti; tale numero porta ad un notevole incremento di precisione. Anche supponendo che i due sistemi

mantengano una costellazione attiva di soli 21 satelliti ciascuno il 99% degli utenti potrà contare su 10 satelliti.

Le cause di errore nel sistema Glonass/GPS possono essere attribuite essenzialmente ai seguenti fattori:

- errori nella predizione delle effemeridi;
- instabilità dei satelliti;
- ritardi non modellati dovuti a ionosfera e troposfera;
- disturbi nel ricevitore.

Con SA attiva gli errori nella misura del GPS hanno uno scarto quadratico medio di circa 25 m. La figura mostra una tipica accuratezza di un sistema Glonass/GPS. Le posizioni sono state calcolate con misure di pseudorange, la figura 1.7 mostra la distribuzione delle posizioni ottenute relativamente ad un punto noto in WGS84 (Nobili,1999).

Figura 1.7 – La figura mostra gli errori che si commettono posizionando un punto attraverso l'uso del solo GPS o attraverso l'uso combinato di Glonass e GPS

1.6. Galileo: verso un Sistema di posizionamento europeo

Galileo è un'iniziativa, nata a scopi civili, promossa dall'Unione Europea (EU) e dalla European Space Agency (ESA), che prevede il lancio in orbita di almeno 21 satelliti per la navigazione ed il posizionamento globale. Il progetto prevede anche l'installazione a terra di apparecchiature appropriate, delle stazioni di monitoraggio e di controllo.

Il servizio Galileo e GPS costituiranno, insieme, il futuro sistema di posizionamento globale (Global Navigation Satellite System, GNSS). Pur rimanendo indipendenti, infatti, saranno completamente compatibili e consentiranno di raggiungere un'accuratezza nel posizionamento di pochi metri, garantita a tutti gli utenti anche civili. L'Europa aveva già provveduto con il lancio di alcuni satelliti geostazionari a migliorare la precisione di posizionamento fornito dai sistemi militari GPS e GLONASS: l'European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) era stato promosso dalla Commissione Europea, dall'ESA, dall'Eurocontrol e da enti dell'aviazione civile.

L'integrazione e l'uso combinato dei due segnali (GPS e Galileo) permetterà di raggiungere livelli di precisione molto elevati. La nuova costellazione garantirà una copertura mondiale e fornirà due livelli di servizio:

- un servizio di base accessibile a tutti e gratuito;
- un servizio ad accesso controllato che sarà offerto solo ad utenti autorizzati che necessitano di garanzie di sicurezza come l'aviazione civile.

Questo progetto tutto europeo comporterà benefici economici e sociali e richiede accordi politici ed economici internazionali per il finanziamento.

Il sistema sarà completato nel 2008, sebbene i primi segnali saranno inviati già a partire dal 2005, con un investimento di circa 2-3 milamiliardi (AA.VV,1999).

Una volta operativo, Galileo procurerà vantaggi non indifferenti:

- un miglioramento del servizio di posizionamento;
- un incremento delle vendite delle apparecchiature;
- un potenziale sviluppo in tutti quei settori, quali i trasporti, che usufruiranno di questo nuovo servizio.

Tra il 2005 e il 2025 si prevede che il sistema Galileo porterà:

- un beneficio di 90 mila miliardi nelle applicazioni industriali;
- la nascita di cento mila nuovi posti di lavoro in tutta Eurpoa;
- una certa autonomia dell'UE rispetto agli USA;
- l'opportunità di una cooperazione fra le Nazioni sotto la leadership europea.

Galileo sarà finanziato da fondi dell'EU e dell'ESA, ma parteciperanno anche enti pubblici e privati con modalità descritte nel documento della Commissione europea del 1999 (vedi AA.VV.,1999a; AA.VV., 1999b).

2

GIS PER LA PIANIFICAZIONE DEI SISTEMI DI TRASPORTO

I campi di applicazione dei sistemi informativi geografici sono ormai innumerevoli, alcuni di essi sono riportati nell'appendice 1, insieme ad una descrizione delle caratteristiche generali dei GIS. Tradizionalmente nel campo dei sistemi di trasporto vengono utilizzati in fase di pianificazione e prendono il nome di GIS-T. Questo capitolo è dedicato ai GIS-T in quanto, sebbene la nostra applicazione nel campo ferroviario non tratti l'aspetto pianificatorio, ci pare opportuno illustrarne le potenzialità in previsione di eventuali sviluppi futuri. Il progetto di cui ci siamo occupati ha come scopo il miglioramento del servizio di trasporto pubblico, attraverso il posizionamento satellitare dei veicoli e la diffusione di informazioni all'utente ed alla centrale di controllo, mediante un'interfaccia GIS. Gli obiettivi della pianificazione dei sistemi di trasporto sono: aumento dell'efficienza, degli standard di sicurezza, della corrispondenza tra domanda e offerta, miglioramento della manutenzione delle infrastrutture, ecc. Sarebbe particolarmente innovativo ed interessante per le Ferrovie Nord, una volta dotate del nostro GIS, effettuare analisi sull'interazione tra mobilità e territorio, oppure creare un catasto delle infrastrutture ferroviarie. Non siamo a conoscenza dell'esistenza di catasti ferroviari in Italia, ma è di larga diffusione la catalogazione delle infrastrutture stradali. Sarebbe anche possibile integrare nell'applicazione GIS dedicata al trasporto su rotaia, tutte le informazioni riguardanti la rete stradale della porzione di territorio interessata, in modo da avere una visione più completa del sistema di mobilità della zona.

Nel primo paragrafo vengono introdotti i campi di applicazione dei sistemi informativi geografici per la pianificazione dei sistemi di trasporto. In quello successivo vengono

illustrate le principali caratteristiche dei GIS-T, che risultano simili a quelle dell'interfaccia GIS da noi realizzata. L'architettura verrà prima descritta in modo generale, successivamente verranno illustrate le peculiarità di ogni sistema informativo, in base allo scopo della sua applicazione. Nel terzo paragrafo vengono descritte le particolarità dei sistemi informativi stradali, mentre nei due successivi vengono illustrate le peculiarità dei GIS-T per i servizi di trasporto pubblico, con riferimento all'individuazione del rapporto mobilità-territorio. Nel sesto paragrafo viene brevemente esaminata la situazione italiana. Infine nel settimo vengono descritte le caratteristiche di un sistema informativo geografico per le ferrovie.

2.1. Introduzione

L'attività di pianificazione dei sistemi di trasporto comprende sia la pianificazione urbana e quindi l'organizzazione delle reti stradali e l'analisi del rapporto mobilità/territorio, sia la pianificazione dei sistemi di trasporto pubblico e l'analisi di domanda e offerta sul territorio, nel tentativo di migliorare il servizio per far fronte ai problemi di congestione e inquinamento.

Il volume di traffico veicolare, soprattutto nelle città europee, è in continua espansione; si è calcolato che nel Regno Unito raddoppierà entro il 2020 (Ott, 1999). Gli addetti alla pianificazione urbana hanno compreso che la soluzione del problema, non è quella di continuare a costruire nuove strade, senza tenere conto degli effetti e dell'impatto che questo implica sull'ambiente e sulla circolazione stessa, bensì occorre gestire le infrastrutture già esistenti in maniera sempre più efficiente ed esplorare nuove alternative. Fra queste la più considerata, a livello europeo, è la possibilità massimizzare l'uso dei sistemi di trasporto pubblico.

L'uso di modelli di pianificazione territoriale per i trasporti, supportati da sistemi informativi territoriali, può costituire la risposta alle esigenze di razionalizzazione del settore. Questi modelli sono stati enormemente avvantaggiati dall'evoluzione recente delle tecnologie GIS, che permettono di effettuare analisi significative ad elevato livello di disaggregazione territoriale dei dati, con modesti costi di implementazione, rapidi tempi di risposta e notevole flessibilità nelle applicazioni. Alcuni enti pianificatori statunitensi (NDOT, National Department Of Transportation e FHWA, Federal Highway Administration) iniziarono a muoversi in questo senso sin dagli anni '60, redigendo i piani dei trasporti delle aree metropolitane, detti CATS (Chicago Area Transportation Studies), con il supporto di software implementati su computer mainframe. Le ricerche continuarono con la realizzazione di una gran quantità di modelli, ma con l'uso di un ventaglio di tipologie di dati abbastanza limitato Per ciò gli sforzi vennero dedicati alla rappresentazione standardizzata della topologia stradale con un livello elevato di consistenza interna: il Census Bureau statunitense ha formalizzato due modelli strutturali, DIME (Dual Independent Map Encoding), nel 1980 e TIGER (Topologic Integrated Geographic Encoding), nel 1990, che contengono i file di

riferimento per la georeferenziazione dei dati di copertura del suolo, rete stradale e relativi sistemi di indirizzi e codici postali (Goodchild, 1999).

Con il supporto dei software commerciali, eventualmente integrati da estensioni appositamente realizzate o disponibili sul mercato e banche dati territoriali a basso costo, sono state realizzate molte applicazioni nel campo dei trasporti, soprattutto per la gestione e la manutenzione delle infrastrutture fisse e delle opere accessorie alle strade ed alle ferrovie a cui dedicheremo l'intero paragrafo 2.6. In un breve lasso di tempo sono state scoperte le potenzialità dei sistemi informativi geografici, come strumento fondamentale di supporto alle decisioni nel campi della pianificazione dei trasporti con particolare attenzione al miglioramento dell'efficienza dei servizi pubblici. Si è inoltre esplicitata la possibilità di integrazione con svariate tipologie di modelli di previsione e simulazione: da quelli propri delle analisi trasportistiche, di previsione della domanda e dimensionamento dell'offerta, di analisi dell'accessibilità territoriale ai servizi forniti, a quelli di trasformazione del territorio per la valutazione e la gestione del rischio ambientale. E' nato poi il geomarketing che, avvalendosi dei dati provenienti da indagini di mercato sulla domanda, riferite al territorio, aiuta a dimensionare l'offerta in relazione alle reali necessità dell'utenza.

Riassumendo, i GIS utilizzati per analisi sull'interazione tra mobilità e territorio, permettono di identificare e valutare l'impatto delle politiche di trasporto sulla sicurezza del traffico e sugli sviluppi economici ed ambientali del territorio stesso, con un particolare livello di attenzione ai costi sociali ed alle esternalità prodotte dai sistemi di trasporto.

Il prossimo paragrafo verrà dedicato alla descrizione delle componenti basilari del GIS per i trasporti, in seguito verranno specificate le caratteristiche tipiche invece delle applicazioni alle quali il GIS-T è dedicato.

2.2. Schema del GIS-T

Nell'ambito dei trasporti i sistemi informativi geografici costituiscono un valido supporto per l'integrazione e la visualizzazione di informazioni georeferenziate. In un GIS la rappresentazione di elementi lineari come il reticolo stradale, viene generalmente effettuata memorizzando una serie di coordinate X,Y. La struttura lineare è costituita da

un insieme di linee e punti che nel caso specifico vengono detti archi e nodi. Un altro modo per individuare la posizione di un elemento geografico potrebbe essere quello di fare riferimento alla sua posizione lungo una strada. In questo modo anche la gestione dei dati risulterebbe più semplice, basterebbe, una volta definito l'elemento lineare, gestire e memorizzare una sola coordinata. Alla base della segmentazione dinamica vi è infatti la definizione di una route che rappresenta l'elemento lineare a cui fare riferimento attraverso la coordinata curvilinea riferita ad un'origine. Alla route possono essere associati degli attributi. Gli strumenti per creare, memorizzare, interrogare, modificare e rappresentare le routes, completano le funzionalità di segmentazione dinamica.

Analizzando diversi sistemi realizzati da varie società di trasporto nel mondo, si sono potute individuare le **caratteristiche** comuni dell'architettura di un GIS per i trasporti (GIS-T), riportate anche in figura 2.1:

- Architettura Client/Server: tutti i principali programmi risiedono su un potente elaboratore centrale (Server) e vengono condivisi ed utilizzati dagli utenti che lavorano su terminali Client, anche remoti;
- uso di database relazionali su server Oracle o Apache, in ambiente ODBC a 32 bit;
- architettura modulare di tipo ERP;
- utilizzo, in fase di analisi, di estensioni preesistenti o appositamente programmate per i software GIS commerciali (Spatial Analyst e Network Analyst per ArcView, MapObject come strumento di sviluppo);
- uso di metadati e di layer SDE (Spatial Database Engine), poco diffuso in Italia.

La Banca Dati centralizzata, viene realizzata con un architettura Client/Server, in modo da rendere disponibili i dati a tutti gli uffici che interagiscono su più livelli. Si compone generalmente di un database relazionale su server Oracle, interrogabile direttamente tramite linguaggio SQL ed accessibile dai vari client, in rete, attraverso queries semplificate. La scelta di Oracle sembra essere un'alternativa obbligata, poiché altri prodotti in commercio, pur essendo più flessibili, non risultano affidabili nel trattamento di grandi quantità di dati.

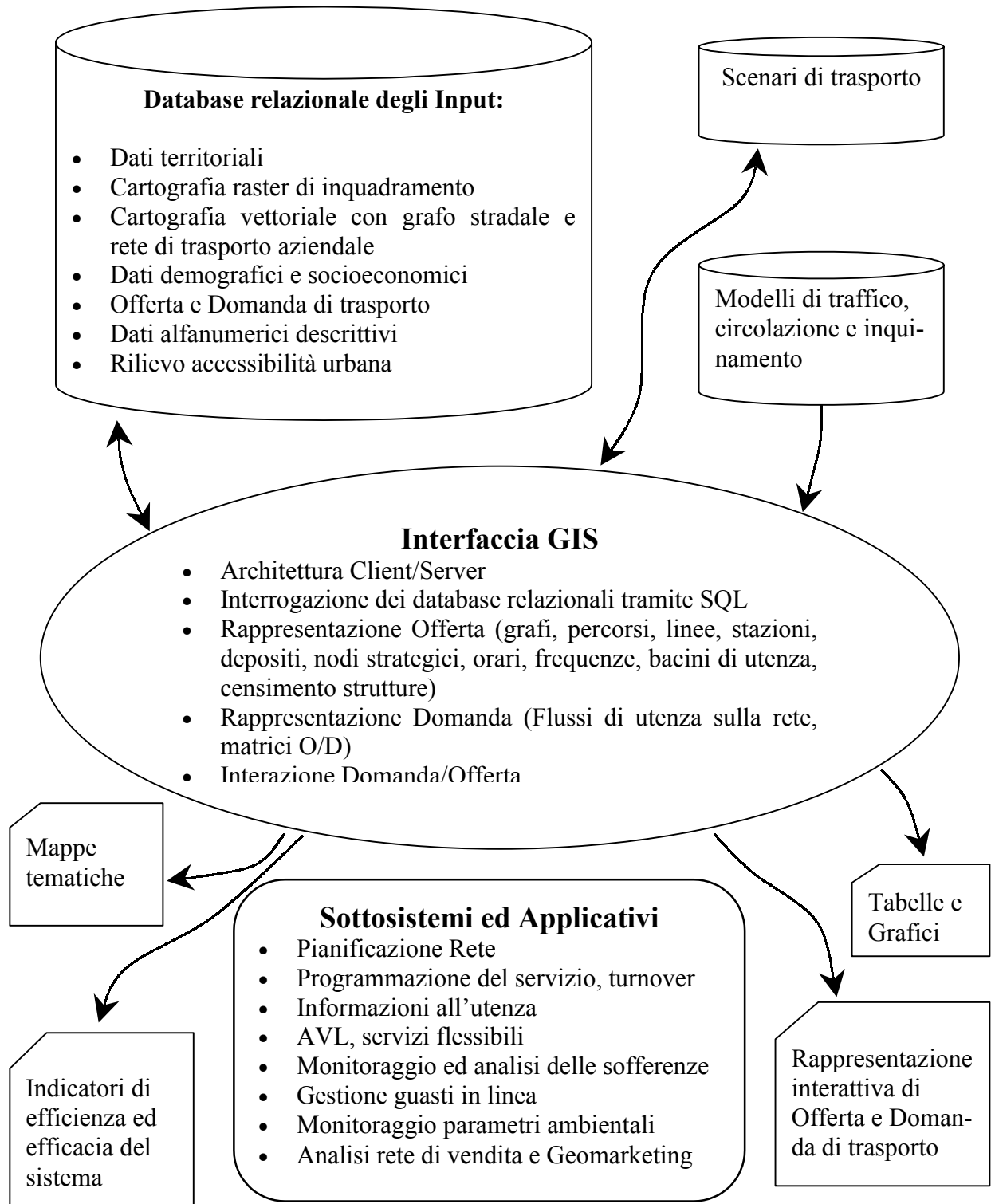



Fig. 2.1 Struttura organizzativa di un tipico GIS-T a supporto della pianificazione, gestione e programmazione del Trasporto Pubblico

Per garantire l'aggiornamento e la condivisione da parte di un numero variabile di utenti, è opportuno che la banca dati venga sviluppata con caratteristiche di *modularità*, *espandibilità, accessibilità, generalità, completezza* e *ripetibilità*. Le regole di consultazione del database, ovvero il livello di accessibilità che possono raggiungere i singoli sottosistemi, sono definite a livello di software.

All'interno del sistema, i dati distribuiti sulla rete, vengono gestiti in maniera totalmente indipendente in fase di accesso ed analisi. In questo modo l'utente non deve conoscere né l'ubicazione fisica dei dati né i nomi dei file. Le tabelle del database sono accessibili per consultazioni o modifiche, mediante collegamento ODBC (Open Database Connectivity) da parte delle altre componenti del sistema.

La struttura gerarchica con cui sono organizzate le informazioni permette una lettura immediata dei dati di tipo aggregata o sintetica; alle informazioni disaggregate e a quelle di maggiore dettaglio, si perviene direttamente approfondendo la richiesta sulle voci di interesse, passando così dal generale al particolare.

L'interfaccia GIS permette di accedere alle informazioni grafiche e testuali, relative alla struttura e alle caratteristiche del sistema di trasporto, sia selezionando graficamente oggetti, sia interrogando direttamente i database anche mediante l'uso di maschere che non richiedono la conoscenza del linguaggio SQL.

Il punto di partenza per la generazione della cartografia è solitamente un grafo più o meno dettagliato in formato vettoriale, comprendente oltre la geometria e la topologia della rete, anche degli attributi alfanumerici. Successivamente si possono sovrapporre molti tipi di layer, la cui utilità dipende dalle caratteristiche dello studio che si sta effettuando; tipicamente si aggiungono una cartografia raster di sfondo a diverse scale, arricchita con un forte contenuto iconografico e diversi poligoni raffiguranti quartieri, isolati, aree verdi, aree pedonali, aree a forte urbanizzazione ecc.

Una volta implementato un database cartografico, per il quale sia garantito l'aggiornamento continuo, il Sistema Informativo Geografico è potenzialmente condivisibile da più soggetti che operano nell'ambito territoriale considerato. Comuni, Regioni ed altre società concessionarie di trasporti pubblici, rappresentano potenziali utilizzatori dei GIS a causa della valenza territoriale che caratterizza le loro attività di pianificazione e gestione. Sono peraltro evidenti i vantaggi che possono derivare

dall'utilizzazione dei GIS per i servizi sanitari (gestione delle chiamate di emergenza e programmazione dei percorsi relativi ai mezzi di soccorso, come illustrato nel capitolo 3) e per la pianificazione degli spostamenti delle vetture della nettezza urbana.

La nostra applicazione è stata realizzata per un unico utente, le Ferrovie Nord Milano, ma ci sembra opportuno evidenziare tutte le potenzialità di uno strumento GIS, comprese quelle di condivisione della base informativa, in vista di eventuali ampliamenti ed estensioni future. Ad esempio una compagnia ferroviaria trarrebbe giovamento nell'utilizzare una base di dati comune all'ambiente gestionale (ERP, SAP) e a quello tecnico-ingegneristico (CAD). Si pensi per esempio alla possibilità di rapido aggiornamento delle informazioni rilevate sul campo per la programmazione della manutenzione. Un GIS è in grado di interfacciarsi con entrambi gli ambienti, consentendo l'integrazione tra la cartografia, gli schemi della rete, i disegni progettuali e la gestione degli ordini di lavoro, del magazzino, delle risorse umane e della manutenzione.

A causa della quantità di livelli di utenza e di sottosistemi che interagiscono con il database, è opportuno sviluppare delle regole di consultazione e di protezione dei dati. Il mantenimento dell'integrità e della qualità possono essere garantiti da una serie di misure precauzionali nella gestione delle transazioni: tutte le funzioni, le modifiche ed i modelli di calcolo devono lavorare su una copia dei dati originali estratta da un master database; nel caso in cui un progetto finito fornisca dati in output, essi vengono copiati nel master database (posting) e viene automaticamente attivata una procedura di validazione che ne verifica la consistenza e l'integrità topologica; i dati originali vengono sovrascritti solo dopo che il processo di validazione è terminato con esito positivo (zero errori). Se non viene approntata una procedura di validazione automatica, è opportuno che l'amministratore del database si occupi di verificare la congruenza e l'integrità dei nuovi dati prima di effettuare qualsiasi aggiornamento. Queste precauzioni consentono di creare un numero illimitato di copie di una ben precisa area geografica ed utilizzarle per progettare diverse alternative o valutare diversi scenari, cancellando, modificando o inserendo gli oggetti dell'infrastruttura ferroviaria. Unicamente l'alternativa che viene approvata sarà copiata nel master database (Brewington, Fitzgerald, 1997).

Da rilevare è l'imprescindibile necessità di poter aggiornare i layer vettoriali adattandoli ai cambiamenti, temporanei o definitivi, dell'assetto viario e dei tracciati di linea che frequentemente avvengono, specialmente nell'ambito di grandi aree urbane (si pensi ai continui rifacimenti, restauri, alterazioni delle sedi viarie). Infatti una cartografia vecchia non è di nessuna utilità a chi deve erogare quotidianamente un servizio legato alla geometria del territorio: strade nuove o strade chiuse, variazione dei sensi di marcia, quartieri di nuova urbanizzazione, necessità di intensificare il servizio in determinate aree per limitati periodi di tempo, impongono una conoscenza accurata dello stato della rete.

Se ai soli fini trasportistici, una conoscenza di dettaglio della geometria della singola strada non è necessaria, è però indispensabile conoscere tutte le variazioni di tipo topologico che vi avvengono; a questo scopo è opportuno che le aziende si garantiscano un frequente aggiornamento puntuale dei propri dati di base. Esistono enti pubblici e società private che periodicamente aggiornano i grafi stradali di base; in Italia la TeleAtlas effettua rilasci semestrali per le principali città ed è arrivata a coprire al dettaglio di scala 1:10000 (CTR), l'80% del territorio nazionale.

Le aziende di trasporto possono (vedi caso dell'ATAC di Roma) realizzare accordi di scambio degli aggiornamenti con le società produttrici di cartografia digitalizzata: la produzione continua di queste ultime viene integrata con informazioni sulla viabilità, rilevate dalle Aziende stesse per i propri compiti istituzionali. Successivamente tali rilievi vengono recepiti nelle basi grafiche, in modo da omogeneizzarli con le altre informazioni e distribuirli con le versioni successive dei prodotti commerciali.

2.3. I sistemi informativi stradali

Il monitoraggio e la gestione delle reti, per la loro natura e complessità, implicano la raccolta, l'aggiornamento e l'utilizzo di un enorme mole di dati territoriali. Ogni processo decisionale volto a garantire l'efficienza della rete, necessita di informazioni aggiornate e complete, particolarmente onerose da reperire se si utilizzano i metodi tradizionali. Si pensi agli archivi cartacei che, oltre a richiedere lunghi tempi di consultazione, presentano difficoltà di aggiornamento e quindi impongono frequenti e dispendiosi sopralluoghi.

La creazione di banche dati territoriali con criteri omogenei, consultabili su diversi livelli da tutte gli enti territoriali interessati consente di realizzare un vero e proprio catasto a supporto, non solo della gestione delle infrastrutture annesse e del traffico, ma anche della pianificazione territoriale della rete.

Queste banche dati permettono di archiviare e gestire dati territoriali aggiornati e velocemente consultabili indispensabili agli enti che devono prendere decisioni in breve tempo riguardo al sistema stradale e che, in qualche modo, interagiscono con la rete stessa: imprese che gestiscono la manutenzione del manto stradale, le infrastrutture viarie, i pedaggi, enti pubblici territoriali, forze di polizia stradale, società di ingegneria del traffico ecc.

Il panorama internazionale presenta numerosi studi e applicazioni di sistemi GIS per la gestione delle reti stradali, i primi dei quali sono stati portati a termine negli Stati Uniti. Numerosi studi di caso completi relativi a mobilità, traffico, viabilità e gestione delle infrastrutture stradali, sono stati compiuti dall'Ufficio per l'ambiente e la Pianificazione del Dipartimento dei Trasporti della Federal Highway Administration (FHA) americana e dalla GIS Trans LtD. Tralasciamo di considerare gli studi altamente teorici sui metodi di rappresentazione dei grafi stradali nei GIS effettuati dal VITAL (Vehicle Intelligence & Transportation Analysys) all'interno del NCGIA. Per ulteriori approfondimenti e per i riferimenti dettagliati si veda la bibliografia.

A livello Europeo sin dal 1992 un consorzio di tre città particolarmente afflitte da problemi di traffico e circolazione (Southhampton, Inghilterra; Colonia, Germania; Pireo, Grecia) intraprese un progetto, supportato da fondi della UE, per la gestione integrata del traffico, della viabilità e dei sistemi informativi per l'utente. Il progetto, che prese il nome di ROMANSE (Road MANagement System for Europe), fu sviluppato con una piattaforma GIS in grado di monitorare, analizzare e controllare il traffico veicolare in tutti i suoi aspetti, compresi quelli modellistici. Il sistema divenne operativo nel 1995, ottenendo riconoscimenti internazionali (BCS Award) per le innovazioni apportate in materia di ITS (Intelligent Traffic Systems) ed un ottimo responso da parte dell'utenza. Attualmente viene usato come modello di sviluppo, all'interno del progetto EUROSCOPE (Efficient Urban transport Operations Services

Co-Operations of Port Cities in Europe) per la razionalizzazione delle politiche decisionali europee in materia di trasporto (Ott, 1999; Craig, Stembridge 1996).

Nell'ultimo quinquennio anche la situazione italiana ha visto nascere numerosi tentativi di razionalizzare le informazioni riguardanti la rete stradale, organizzandole in sistemi informativi con il supporto di GIS integrati. Ciò anche grazie agli impulsi dati agli enti gestori di strade da parte del quadro legislativo. Per questo nella presente sezione ci limitiamo a considerare la situazione italiana, sufficientemente significativa, esemplificativa e rappresentativa dell'ampio ventaglio di applicazioni possibili, in quanto ricca di nuove proposte.

2.3.1. Catasto informatizzato per la gestione/manutenzione del patrimonio stradale

Gli Enti amministratori proprietari o concessionari della gestione di reti viarie, ai sensi del Testo Unico del Nuovo Codice della Strada (L.285 30/4/92 e successivi regolamenti di esecuzione ed attuazione: D.D.L.495 16/12/92, D.L. 10/9/93 n° 360, Art.13), sono tenuti ad istituire e tenere aggiornati la cartografia ed un Catasto informatizzato delle infrastrutture, opere d'arte e pertinenze stradali. Le modalità da seguire per adempiere alle specifiche di legge saranno definite con Decreto del Ministero dei LLPP, sentita un'apposita commissione del CNR. Attraverso questo obbligo viene quindi palesata la necessità di fissare modalità univoche per la gestione delle informazioni nell'ambito del sistema di mobilità stradale.

Il Catasto Stradale Informatico si configura come strumento per la gestione del patrimonio stradale attraverso le seguenti **funzionalità**:

- monitoraggio della consistenza qualitativa e quantitativa della rete e relative analisi statistiche;
- pianificazione e gestione della manutenzione e degli interventi programmati e monitoraggio dell'andamento temporale dei lavori al fine di ottimizzare l'uso delle risorse umane e finanziarie;
- verifica della funzionalità attraverso modelli di traffico ed accessibilità;
- gestione delle concessioni e riscossione di canoni;

- gestione della segnaletica orizzontale e verticale;
- programmazione di nuovi interventi e valutazione dell'impatto ambientale;
- rilievi di traffico, statistiche sugli incidenti, monitoraggio ambientale con modelli di diffusione degli inquinanti;

Dalle applicazioni analizzate si evince che il Catasto Stradale deve essere dotato di tre **componenti** che interagiscono tra loro:

- Banca Dati aggiornata;
- Sistema Informativo Geografico;
- Sistema Informativo Stradale (SIS).

Nella banca dati, generalmente accessibile tramite maschere di Access (vedi figura 2.2) sono contenute le informazioni relative alla geometria del corpo stradale (rettifili, curve planimetriche, livellette, curve altimetriche, tronchi omogenei, cippi...), alla segnaletica orizzontale e verticale, alle pavimentazioni, alle opere d'arte (ponti, viadotti, sovrappassi, sottopassi, gallerie …), agli arredi ed attrezzature di pertinenza (piazzole di sosta, parapetti, barriere spartitraffico, muri di sostegno, barriere antirumore…), alle opere in concessione (distributori di carburante, reti tecnologiche, accessi privati…) ed eventualmente alla tipologia di incidenti, rallentamenti e cali di visibilità periodici (nebbie). In tal modo si ottiene una catalogazione, sia delle opere secondo l'aspetto strutturale e lo stato di conservazione, determinato da ispezioni programmate, sia delle caratteristiche qualitative generali.

Il SIS contiene procedure o moduli per gestire il collegamento bidirezionale tra GIS e banca dati (catasto alfanumerico). Questo tipo di software, generalmente appositamente realizzato in base alle specificità della rete da monitorare, costituisce il collegamento tra le metodologie di raccolta dati tradizionali del settore, ed i database standard di un GIS. Infatti permette la georeferenziazione delle informazioni alfanumeriche descrittive contenute nella banca dati, sulla cartografia numerica del GIS. L'operazione viene compiuta tramite algoritmi che riportano il sistema di riferimento delle progressive chilometriche, tradizionalmente utilizzato per posizionare qualunque tipo di elemento lungo le strade, nel sistema di coordinate cartografiche utilizzato dal GIS.

Alcuni esempi di estensioni a GIS commerciali appositamente realizzate: RoadSIT della Siteco S.r.l. di Bologna (Bonini, 1999), STONE della Spea Ingegneria di Roma

(Ascenzi, Tanzi, 1999), A.L.I.C.E. della EL.DA. Ingegneria di Treviso (Dovadola,1999). A livello commerciale troviamo Network Analyst, estensione di ArcView e NetEngine, entrambi della ESRI.

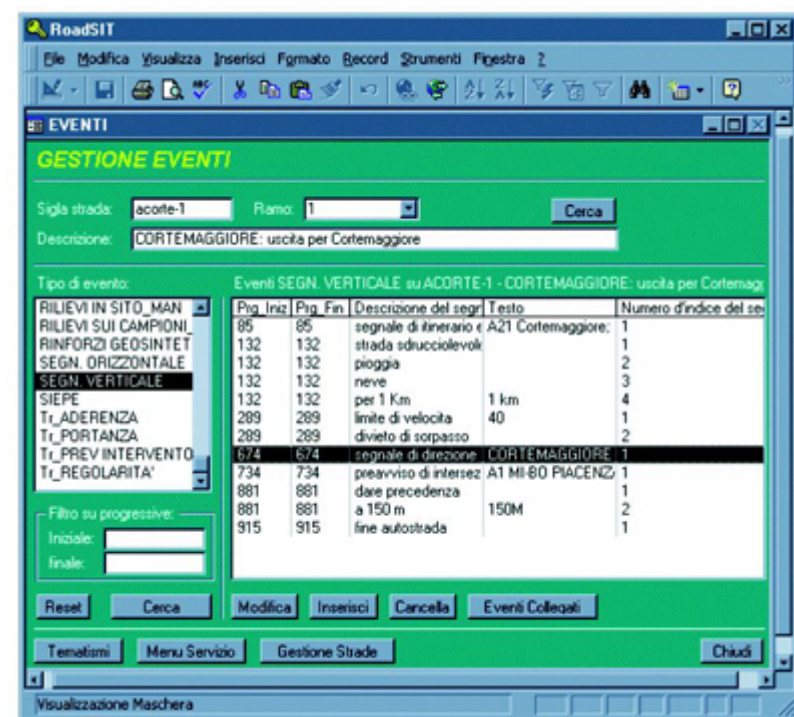



Figura 2.2 – Maschera di Access per l'interrogazione del database e la gestione degli eventi del sistema RoadSit, per la gestione dell'Autostrada A21

Utilizzando un GIS con possibilità di segmentazione dinamica, l'utilità di questo ulteriore modulo verrebbe solo parzialmente a cadere, infatti il SIS assolve anche il compito di raccogliere, elaborare e gestire i dati proveniente dalle attività di sorveglianza delle opere d'arte stradali. Una volta archiviati i dati, ed effettuate le elaborazioni di base per ordinarli, il SIS formula in base a criteri formalizzati un elenco di priorità di interventi, permettendo così un'efficiente programmazione tecnico-economica. Inoltre il SIS comprende procedure per la gestione delle problematiche relative alla segnaletica e alle opere in concessione. Quindi l'uso della segmentazione dinamica facilità il compito al SIS, che non deve comprendere anche algoritmi di conversioni di sistemi di riferimento, ma solo procedure di identificazione di origini e di percorsi all'interno del grafo stradale.

Un esempio può chiarire il ruolo di un modulo aggiuntivo che estende le funzionalità GIS. Nell'applicazione effettuata sulla banca dati della Provincia di Macerata (Ascenzi, Tanzi 1999), per la manutenzione programmata delle opere d'arte stradali, il software STONE ed il GIS GeoMedia della Intergraph, si integrano ed interagiscono all'interno della stessa finestra di dialogo (visibile in figura 2.3).

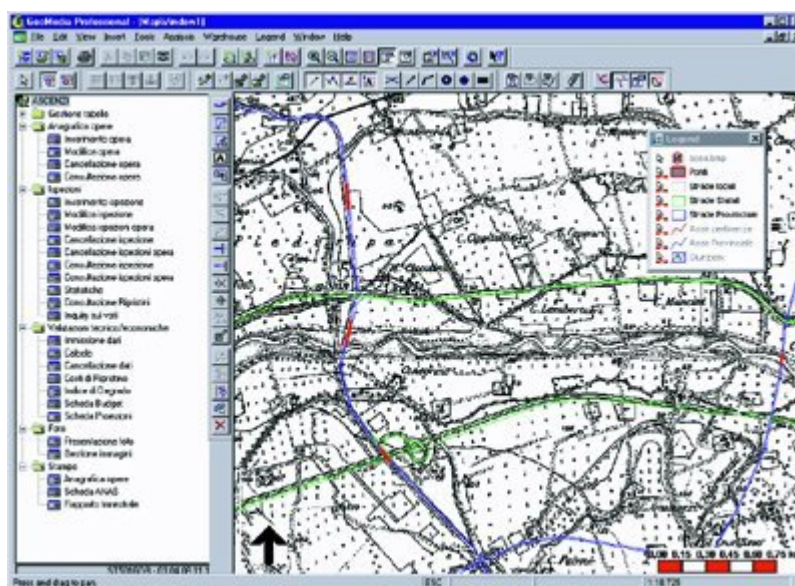



Figura 2.3 – Schermata del GIS GeoMedia della Intergraph, integrato con il software STONE per la manutenzione delle opere stradali: il frame di sinistra è occupato da STONE, per il resto la finestra si presenta come un normale GIS con il menù di GeoMedia e la cartografia visualizzata

Nel frame di STONE si possono selezionare singole o gruppi di opere d'arte e localizzarle sulla cartografia adiacente, visualizzandole automaticamente alla scala appropriata. Ciò permette di percepire immediatamente la situazione e di valutarla, rapportandola al contesto territoriale. Per esempio, visualizzando le opere per le quali sono previsti interventi di manutenzione, si può valutare l'interferenza col traffico dei relativi cantieri e quindi studiare percorsi alternativi e tempistiche di intervento. Con un ipotetico aggiornamento in tempo reale del database, sarebbe possibile intervenire analogamente, anche in caso di incidenti che occludono le carreggiate o di nebbie persistenti, consigliando all'utenza percorsi alternativi o misure precauzionali. E' anche possibile l'operazione inversa: selezionando graficamente un'opera o un insieme di

opere sulla cartografia, si possono visualizzare le schede inserite nel database di STONE, contenenti le caratteristiche e lo stato di conservazione.

Il GIS integra vari livelli di cartografia raster con il grafo vettoriale della rete stradale al fine di identificare sul territorio le opere in gestione e gli eventi connessi. Il supporto cartografico raster può essere costituito da ortofoto e varia di scala a seconda delle esigenze e delle disponibilità economiche dell'ente gestore: 1:25000 per l'inquadramento territoriale, 1:10000 per gli andamenti plano-altimetrici dei tracciati stradali, 1:2000 per georeferenziare le opere d'arte. La figura 2.4 mostra una mappa dettagliata in scala 1.1000 realizzata per la gestione della Autostrada A21 Piacenza-Cremona-Brescia (Bonini, 1999).

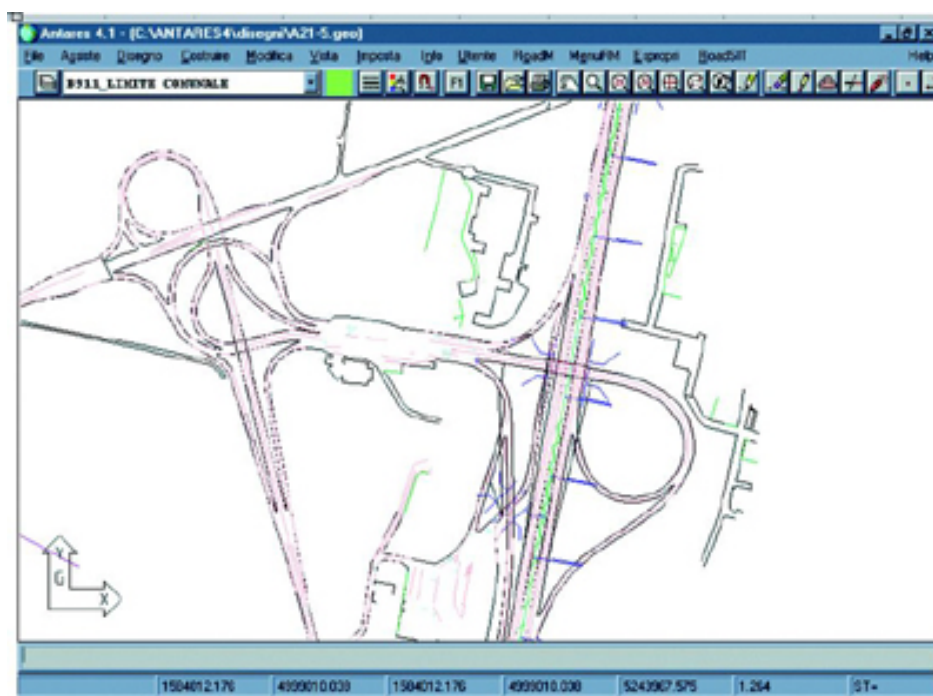



Figura 2.4 – Schermata del GIS Antares, realizzato dalla Gea Map S.r.l. di Bologna per la gestione informatizzata della A21: casello di Cremona visualizzato in scala 1:1000

Anche il grafo stradale vettoriale, può essere realizzato con diversi gradi di accuratezza e precisione a seconda delle esigenze dell'ente istituente e delle disponibilità economiche. Di seguito illustreremo le due soluzioni estreme. Le linee guida del Catasto ANAS (La Monica, 1999) prevedono l'utilizzo di un grafo commerciale disponibile sul mercato (es. TeleAtlas), esteso a tutta la rete stradale

ANAS, integrato da informazioni già disponibili presso le unità operative. In questo modo si definisce uno strumento di immediata utilità in tempi brevi e con costi contenuti, il cui dettaglio può essere successivamente migliorato in base ai limiti individuati dagli utenti stessi. Quindi vengono già contemplate fasi successive di rilevamento di campagna, al fine di migliorare il numero, la precisione ed il dettaglio degli attributi connessi al grafo e la georeferenziazione stessa dei nodi e degli archi che lo compongono.

L'alternativa opposta è quella di utilizzare un moderno laboratorio cartografico mobile, montato su un furgoncino equipaggiato con il sistema di posizionamento satellitare differenziale (DGPS), integrato con sistemi inerziali (giroscopici) e tachimetrici (figura 2.5). Questo sistema consente, non solo di rilevare l'andamento geografico delle strade e di posizionare gli elementi situati lungo gli assi, con precisione submetrica, ma anche di scattare foto e registrare filmati dai 4 lati del veicolo, associando a ciascun immagine una precisa posizione geografica, successivamente riferita al sistema chilometrico progressivo.

Figura 2.5 – Laboratorio cartografico mobile per campagne di rilevamento del grafo stradale, attrezzato con DGPS, giroscopio, odometro e telecamere stereoscopiche

Il vantaggio dell'uso di un GIS sta nella facilità di consultazione degli attributi alfanumerici relativi agli elementi presenti sulla cartografia: selezionando un elemento sulla cartografia è possibile consultare le informazioni alfanumeriche ad esso associate, prime tra le quali le progressive chilometriche di inizio e fine (figura 2.6).

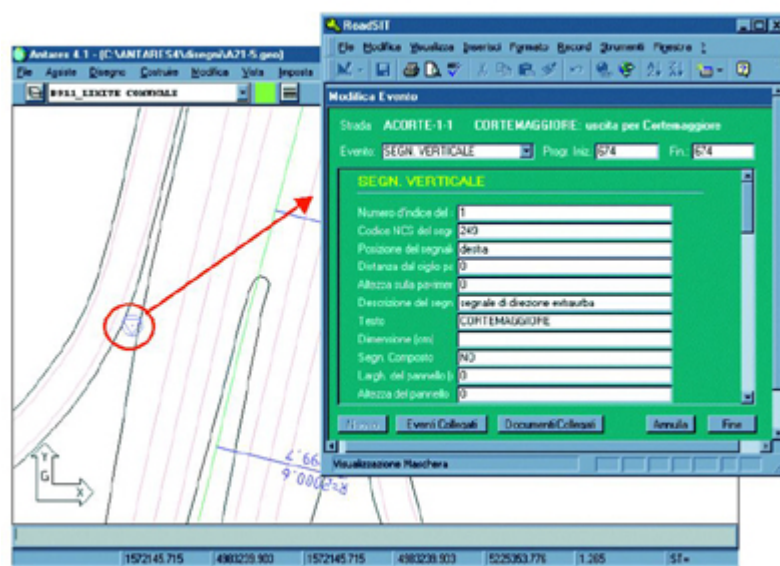



Figura 2.6 – Schermata del SIS RoadSIT realizzato dalla Siteco S.r.l. di Bologna per la gestione informatizzata della A21: selezionando un elemento sulla cartografia (in questo caso un segnale verticale) è possibile consultare le informazioni alfanumeriche del catasto ad esso relative

Ad esempio i dati geometrici della segnaletica verticale sono di difficile interpretazione se letti direttamente dal database, mentre risultano chiari ed esplicativi se possono essere visualizzati selezionando dalla cartografia l'icona che li rappresenta. Ciascun tipo di opera d'arte o arredo viene inserito in un tematismo differente, rappresentato dal GIS da uno specifico layer, che si può aggiungere o togliere al di sopra della cartografia di base.

Per quanto riguarda invece gli elementi non individuabili con un punto sulla cartografia, ad esempio lo stato dalla pavimentazione, elemento di base nella gestione di una rete stradale, vengono rappresentati con linee o aree i cui punti di inizio e fine o di baricentro, sono riferiti al sistema delle chilometriche progressive. Questa tecnica di referenziazione risulta particolarmente funzionale, considerando che i rilievi vengono eseguiti con macchine ad alto rendimento che restituiscono valori dei parametri misurati (CAT, Coefficiente di Aderenza Trasversale e IRI, International Roughness Index) associati ad una progressiva. Viene poi generata una mappa tematica mediante un layer contenente le entità lineari di colore, spessore o tratto differente a seconda del valore dei parametri, eventualmente posizionata in offset rispetto all'asse stradale.

Spesso un elemento è documentato, oltre che da una serie di dati alfanumerici, da informazioni di tipo diverso, come fotografie, filmati, scansioni, grafici, disegni, relazioni, ecc. Per questa ragione il congiunto SIS/GIS (ad esempio i già citati RoadSit e ALICE) prevede la possibilità di associare alle informazioni alfanumeriche diverse tipologie di file quali filmati, immagini (figura 2.7), disegni AutoCAD, fogli Excel e documenti Word.

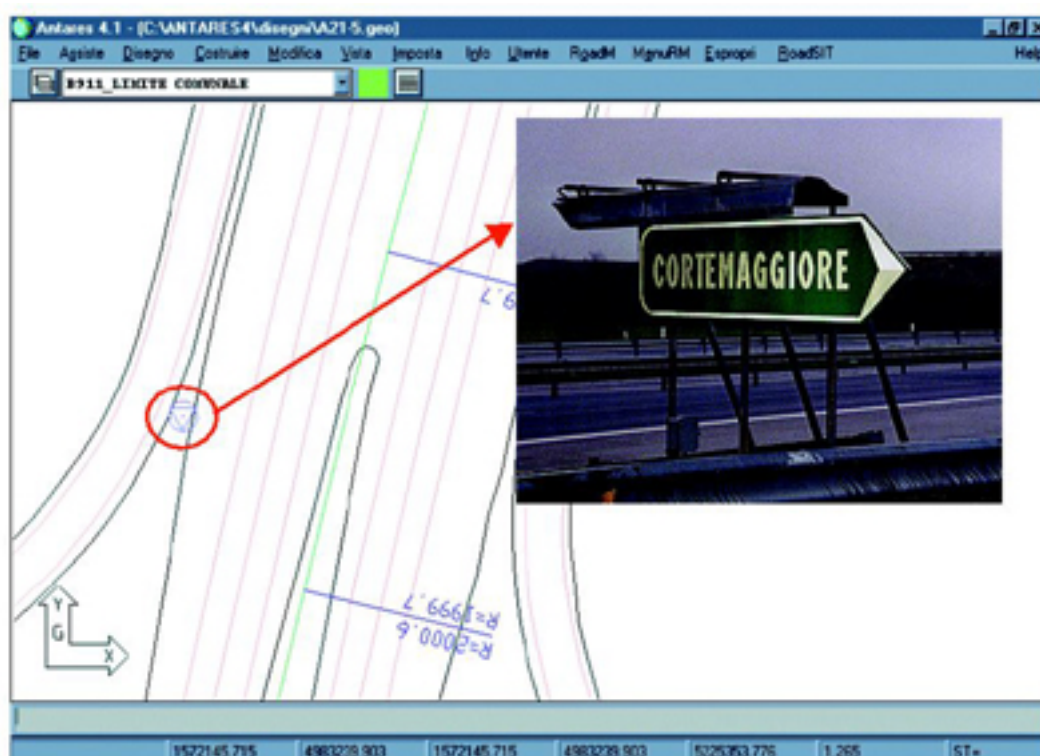



Figura 2.7 – Schermata del GIS Antares per la gestione informatizzata della A21: selezionando un elemento sulla cartografia è possibile visualizzare l'immagine associata

Tali documenti non vanno inseriti direttamente nel database, per non appesantirlo eccessivamente: nelle tabelle si può inserire un campo che permette di associare ad un elemento uno o più file di diversa natura. In tal modo la tabella attinge ad una fonte esterna al database. I componenti del Sistema Informativo stradale completo, risultano quindi quelli di figura 2.8 (Montoya, Thomas, 1998).

Tramite interrogazioni grafiche o da maschera si possono evidenziare le correlazioni che esistono tra gli elementi. Per esempio, a partire dai dati strutturali di un manufatto

deve essere possibile visualizzare le manutenzioni o i controlli eseguiti su quell'opera, così come a partire da controlli che hanno avuto un determinato esito si deve poter risalire ai manufatti a cui sono riferiti.

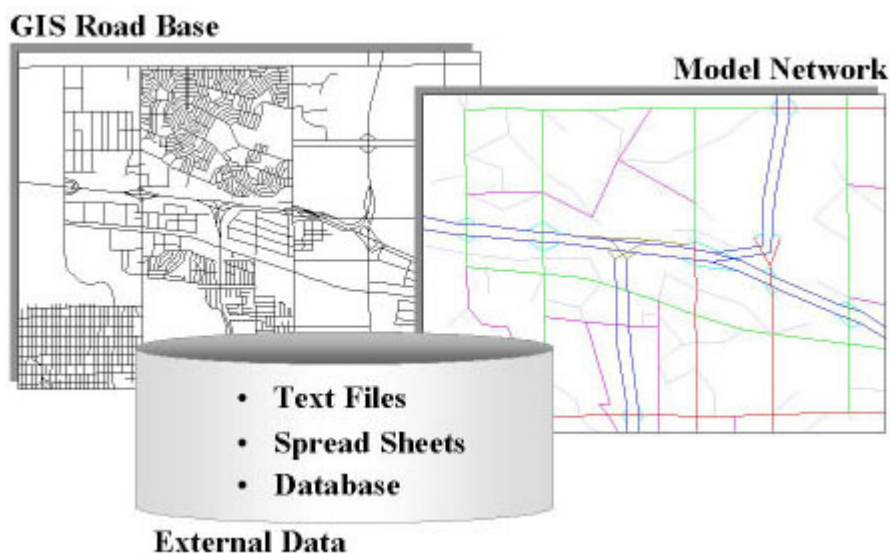



Figura 2.8 – Componenti di un SIS realizzato dal Denver Regional Council of Governments, Colorado

2.3.2. Costruzione delle fasce di rispetto

Il già citato nuovo Codice della Strada (DDL 285/92 e successivi regolamenti attuativi), impone ai Comuni la classificazione della rete viaria e la creazione delle relative fasce di rispetto a ciglio strada, al fine di rispettare criteri di visibilità e sicurezza. Le fasce di rispetto devono essere acquisite all'interno dello strumento urbanistico adottato (PRG) e costituiscono un vincolo di efficacia inderogabile, salvo la presenza di elementi inamovibili preesistenti. La legge introduce una nuova classificazione delle rete viaria rispetto a quella definita nel DM 1404/68, che comprende anche le strade urbane (Zone Omogenee A,B,C) e non tiene più conto dell'ente gestore. Basandosi sulle caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali e sui livelli di servizio forniti, il Nuovo Codice definisce le seguenti categorie di strade e assegna le relative larghezze delle fasce di rispetto, in base alla destinazione d'uso del suolo e al tipo di manufatto (sono

riportati i valori minimi e massimi, corrispondenti ad edifici da costruirsi su suoli classificati nel PRG rispettivamente come urbanizzati e non urbanizzabili):

A. Autostrade dotate di recinzione (30-60m);
B. Strade extraurbane principali (20-40 m);
C. Strade extraurbane secondarie (10-30 m);
D. Strade urbane di scorrimento (0-20m);
E. Strade urbane di quartiere (0m);
F. Strade locali o vicinali, urbane o extraurbane (10-20 m).

L'ampiezza della fascia va calcolata dal ciglio della strada ed in corrispondenza degli incroci esistono precise indicazioni (art. 2) sulla costruzione di un area di raccordo, detta triangolo di rispetto, riportate nelle figure 2.9 e 2.10. Data la precisione necessaria

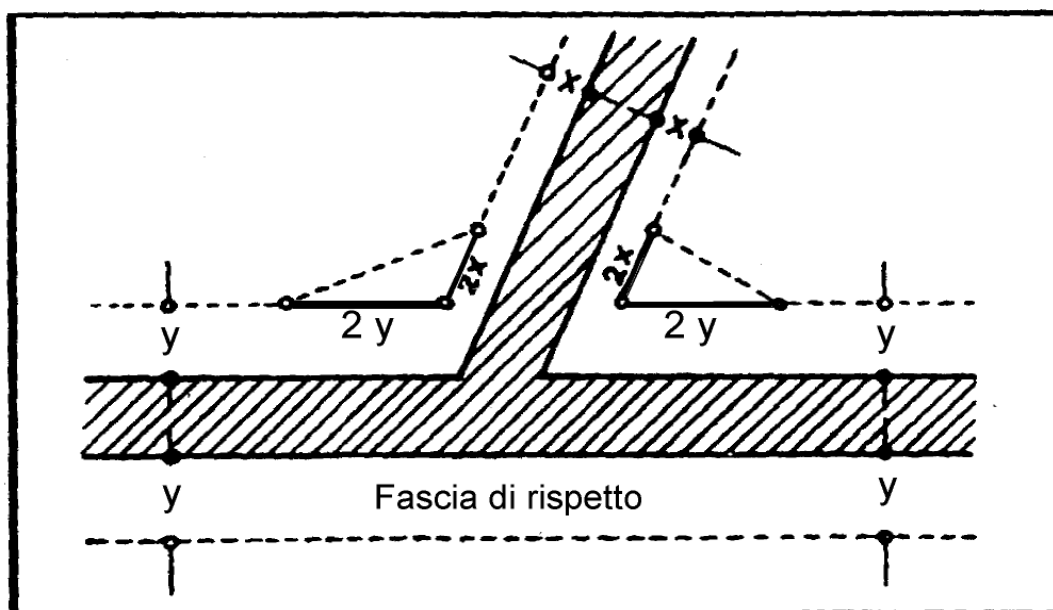



Figura 2.9 - Triangolo inedificabile ai sensi del DM 1404/68 e del Nuovo codice della Strada, DLgs 285/92.

nell'individuazione dei cigli che delimitano l'area demaniale fra essi compresa, è necessaria una cartografia molto dettagliata; le CTR in scala 1:10000 non soddisfano tale esigenza, per cui si ricorre, per lo meno nel territorio urbano, alla cartografia catastale dettagliata in scala 1:1000 o 1:2000.

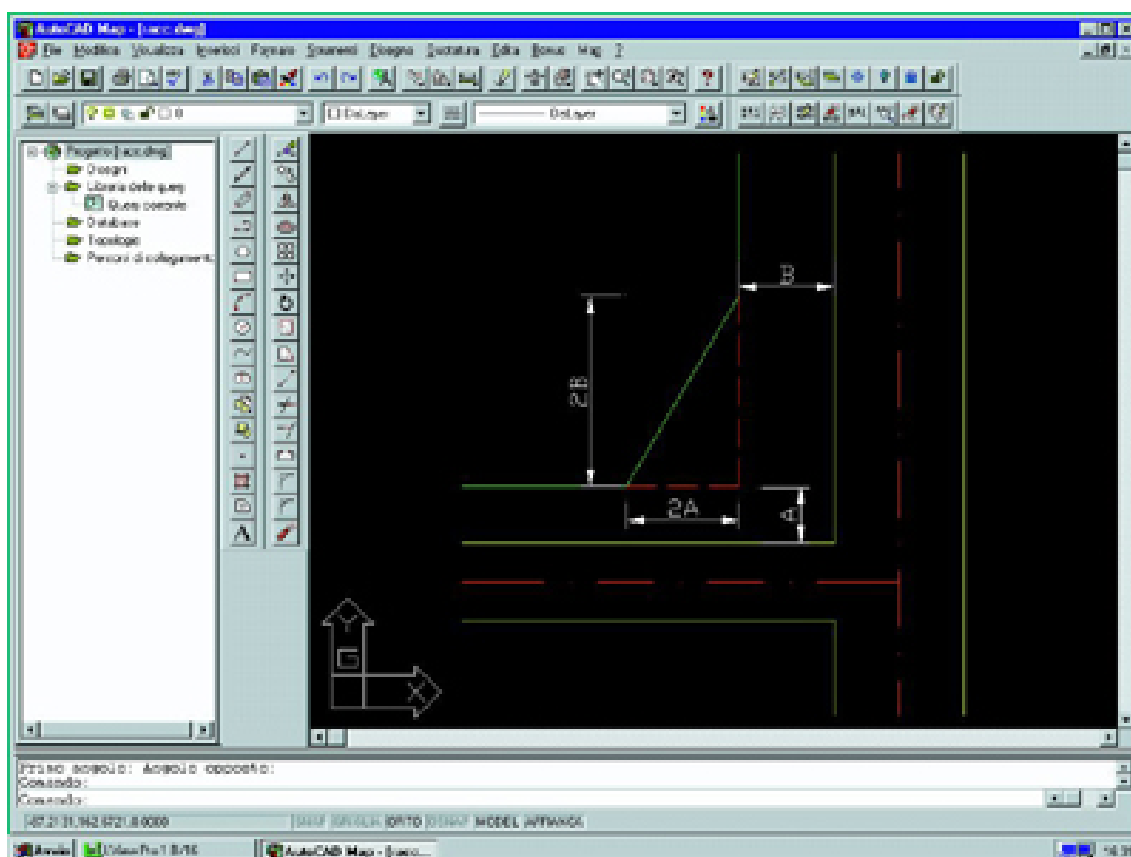



Figura 2.10 – Triangolo inedificabile visualizzato dal GIS AutoCAD Map, per un incrocio del territorio urbano del Comune di Modena

Un sistema GIS si configura come lo strumento informatico naturalmente candidato a supportare le attività di classificazione delle strade e di individuazione delle fasce di rispetto; in prima battuta perché tutti i software commerciali dispongono della funzionalità di buffering, che consente la creazione di un area di rispetto (buffer) intorno agli oggetti grafici selezionati quali poligoni, linee, punti. Lo spessore del buffer può avere un valore costante, oppure variabile, in funzione di operazioni logiche da compiere sui campi del database relativi all'oggetto (record) in esame. Nel caso considerato l'area di rispetto avrà un valore variabile asta per asta a seconda della larghezza (calibro) della strada e della fascia assegnata alla categoria. In seconda battuta perché la possibilità di programmare scripts o routines nei linguaggi object oriented disponibili per i sistemi GIS più comuni (AVENUE per ArcView, Lisp per AutoCAD Map …), permette di automatizzare le procedure di elaborazione e tracciamento delle

fasce a partire dalla topologia stradale esistente. Ad esempio si può creare una routine che, una volta selezionate coppie di punti disposti sui cigli strada, compia automaticamente le seguenti operazioni:

- calcolo della larghezza della tratta stradale come media dei calibri agli estremi della stessa;
- assegnazione dei cigli-guida al relativo piano di appartenenza (uno per categoria di strada);
- calcolo della posizione dell'asse lungo la tratta considerata;
- tracciamento dell'asse stradale in colore e spessore variabile a seconda della categoria e della larghezza effettiva;
- elaborazione e tracciamento del buffer stradale (area di rispetto) di valore variabile tratta per tratta, calcolato come somma dei campi del database relativi al calibro e alla fascia corrispondente a termini di legge;
- tracciamento del triangolo di raccordo delle fasce di rispetto in corrispondenza degli incroci.

Quest'ultima operazione risulta alquanto complicata a causa delle molteplici tipologie di intersezioni e rotonde che si possono incontrare, pertanto la sua esecuzione potrebbe risultare solo semi-automatica e richiedere l'intervento di un operatore.

La scelta da parte dei Comuni di utilizzare un GIS per l'adempimento di questo obbligo legislativo, consente di ammortizzare in breve tempo gli investimenti effettuati per software e hardware, in quanto, una volta digitalizzata la rete stradale e creata una banca dati, è possibile avviare tutte le procedure di gestione e manutenzione programmata dei manti stradali illustrate nel precedente paragrafo. Il Comune di Modena ha sviluppato e sperimentato una metodologia di lavoro, come quella descritta, nel 1998 sull'intera rete viaria comunale, che si sviluppa complessivamente su oltre 500 km, ed ha ottenuto ottimi risultati (Comani, Pagotto, 1998).

2.4. Il GIS per la conoscenza del rapporto mobilità/territorio

Nella conoscenza dell'uso e delle caratteristiche del territorio, il GIS svolge la sua basilare funzione di mostrare viste geografiche di una determinata area, cioè produrre della cartografia ed affiancarla a strumenti di analisi.

La possibilità di esprimere e visualizzare l'accessibilità territoriale mediante un GIS, può rivelarsi di grande utilità per la valutazione della rispondenza del servizio di trasporto pubblico alla domanda distribuita sul territorio (Cometti, Ratti, 1997; Sartore, 1999; Camicia, Sartore, 1998).

L'analisi dell'accessibilità può essere introdotta in qualsiasi fase dell'attività di piano da parte di un gestore di un servizio di trasporto pubblico: nella descrizione dello stato di fatto, nella fase progettuale con l'obiettivo di migliorarla, nella fase di verifica dove l'accessibilità può rappresentare l'indicatore di uno standard di progetto. Quest'ultimo è il caso dell'accessibilità ai veicoli da parte delle persone disabili: va valutata per ogni linea, in base alla conformazione della banchina e alle caratteristiche del mezzo di trasporto in modo da rispondere a precisi standard di legge (L 13/89, L 104/92, DDL 285/92 "Nuovo Codice della Strada", LR 76/89, LR 17/95).

Un esempio di utilizzo di GIS, per analisi di accessibilità pedonale alle fermate, si può trovare nell'ambito dello studio per la pianificazione della metropolitana di Portland, Oregon, USA. Nel 1992 vennero effettuate una serie di indagini e di rilievi in seno allo studio LUTRAQ (Land Use Trasportation Air Quality), che portarono alla definizione di un quadro qualitativo e di alcuni indici quantitativi. Nel 1998, con l'ausilio di un GIS, si sono potuti ridefinire i bacini di utenza e raffinare gli indici di accessibilità alle fermate, fino ad ottenere mappe tematiche come quelle rappresentate in figura 2.11 (Fisher, 1998).

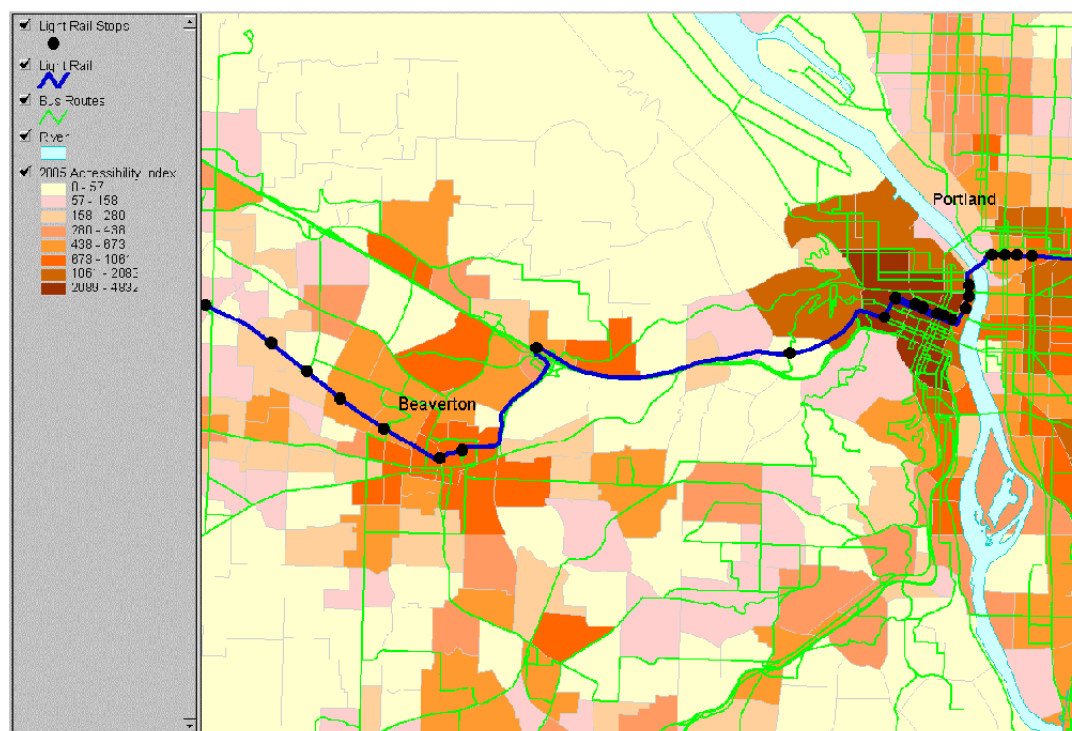



Figura 2.11 - Mappa tematica dell'Indice di accessibilità alle fermate della metropolitana leggera di Portland, Oregon

Per avere un'idea completa della mobilità sul territorio vanno effettuate analisi sulla domanda, sul flussi di traffico e sull'offerta tenendo conto di alcuni elementi quali indicatori demografici e socio-economici. Generalmente in un database le informazioni sono così articolate:

Dati relativi alla domanda di trasporto:

- origini e destinazioni degli spostamenti sistematici ricavabili da fonti statistiche ufficiali o dall'applicazione di modelli per l'individuazione dei generatori e attrattori di mobilità;
- frequentazione e bigliettazione sui mezzi pubblici,
- traffico veicolare;
- movimentazione delle merci.

Dati relativi all'offerta di trasporto:

- caratteristiche geometrico-funzionali delle infrastrutture e delle reti di trasporto (strade, ferrovie, porti, aeroporti);

- percorsi e frequenze dei servizi di trasporto pubblico (ferrovie, navigazione...).

L'osservazione della mobilità sta assumendo un ruolo rilevante in seguito all'attuale tendenza rivolta ad aumentare l'efficienza-efficacia del servizio pubblico, mentre, il trasporto privato su gomma si trova ad affrontare le problematiche legate alla sua eccessiva espansione ed al conseguente impatto con l'ambiente. Perché il processo di ristrutturazione dei servizi avvenga, occorre una conoscenza approfondita di tutti i fattori in gioco (componenti geografiche e ambientali, struttura della rete, ecc) e quindi una base di dati amplia ed integrata. Nella legge Regionale n.10 del 13 Marzo 1995 della Regione Umbria, è prevista l'istituzione dell'Osservatorio della Mobilità, (Coccia, Mallamo, 1996) che deve fornire una rappresentazione aggiornata in continuo dello stato della mobilità regionale (gestione globale della circolazione, regolazione degli accessi, regolazione della sosta, ecc). Lo scopo di questa istituzione è quello di costruire la struttura di supporto tecnico-decisionale dell'Authority, che come unico organismo deve pianificare e controllare le varie modalità di trasporto (gomma e ferro) nei diversi ambiti (urbano, extraurbano) garantendo l'efficienza alle aziende esercenti. L'osservatorio ha al suo interno dotazioni hardware e software per il rilevamento della domanda, dell'offerta, del sistema tariffario, dei servizi complementari, dei costi e ricavi, degli obiettivi e delle principali strategie per valutare l'efficienza del servizio e per definire le tendenze evolutive del trasporto pubblico. Si può notare come l'Osservatorio della Mobilità riceva informazioni da vari centri di raccolta quali aziende di Trasporto Pubblico Locale (TPL) su gomma o su ferro (urbane o extraurbane), da centraline di rilevamento sull'ambiente, spire magnetiche conta traffico dislocate sull'intero territorio, banche dati delle Camere di Commercio, ISTAT, centri informativi regionali e/o nazionali. Il centro elettronico diviene la più completa banca dati della Regione in materia di mobilità e dopo aver elaborato i dati può fornire tabelle, grafici, restituzioni grafiche.

Una delle principali cause della crisi delle ferrovie, consiste nella mancanza di innovazione nei modelli interpretativi dei rapporti tra flessibilità (spaziale e temporale) della domanda di mobilità e dinamiche funzionali del territorio e quindi nella mancata predisposizione di modelli di offerta (Fiduccia, Jacobelli, 1998). La nostra applicazione

non contiene analisi dell'interazione tra mobilità e territorio, ma questa affermazione potrebbe costituire uno spunto per le FNM.

2.5. Supporto alla modellizzazione e pianificazione dei sistemi di trasporto pubblico

Il sistema di trasporto pubblico può essere visto come una parte costitutiva del più generale sistema di trasporto, dotata di caratteristiche strutturali, organizzative ed operative proprie. Al suo interno si possono individuare e rappresentare in termini modellistici le seguenti componenti:

- caratteristiche ed uso del territorio nella sua interazione con la mobilità;
- offerta di trasporto pubblico (estensione della rete e servizi di linea);
- domanda di trasporto pubblico (flussi sulla rete);
- interazione tra domanda e offerta di trasporto pubblico.

Per la rappresentazione e l'analisi delle componenti sopra citate, le aziende pubbliche o concessionarie di servizi pubblici, possono avvalersi del supporto di sistemi informativi georeferenziati. L'obiettivo delle aziende è quello di interfacciare più modelli per riprodurre il più fedelmente possibile la realtà oggetto di studio al fine di simularne le modifiche, valutarne gli effetti e, sulla base dell'analisi di più alternative, giungere alla scelta ottimale (Carbone, Gattuso, 1998). La scelta delle alternative efficienti avviene sulla base di indicatori ordinati e significativi, precedentemente formulati.

I tipici **obiettivi** che le aziende possono perseguire con il supporto di un Sistema Informativo Geografico sono:

- riorganizzazione aziendale, acquisizione di competitività e di capacità progettuale in vista di un mercato di concorrenza o della partecipazione a gare per appalti di concessione;
- formulazione di parametri relativi alla domanda di trasporto, ai traffici sulle linee esercite, ai rientri tariffari, all'organizzazione e al turn-over del personale, al disegno

dei percorsi di linea, alla programmazione temporale delle corse, ai costi di esercizio;

- miglioramento della qualità del servizio fornito all'utenza, tramite formulazione e monitoraggio di alcuni parametri e caratteristiche ad esso relativi quali:
  - ⇒ congruenza tra domanda di trasporto nell'area e offerta dell'azienda esercente;
  - ⇒ regolarità, puntualità e affidabilità delle corse;
  - ⇒ informativa all'utenza, efficace chiara ed aggiornata (si veda il paragrafo 3.4);
  - ⇒ comfort del viaggio (guida del bus, pulizia, climatizzazione, manutenzione dei mezzi, ecc.);
- monitoraggio di tutti i parametri di redditività legati all'esercizio;
- riduzione dei costi di esercizio e di controllo del servizio effettuato tramite sistemi automatizzati di monitoraggio e controllo;
- derivazione di indicatori utili per valutazioni in tempo reale del buon funzionamento del sistema, per valutazioni di due sistemi di trasporto differenti o di uno stesso sistema di trasporto in due periodi diversi.

La nostra applicazione ha come scopo il monitoraggio dei veicoli, con conseguente aumento degli standard di sicurezza, e un miglioramento nell'efficienza del servizio grazie alla disponibilità di informazione facilmente divulgabili all'utente. Ci è parso importante considerare tutti i possibili obiettivi che un GIS-T può perseguire in modo da ampliare il campo di applicazione del nostro progetto.

Le caratteristiche dei sistemi informativi per i sistemi di trasporto pubblico sono del tutto simili a quelle dei GIS-T esposte nel paragrafo 2.1.1.

2.5.1 La rappresentazione delle caratteristiche dell'offerta e della domanda di trasporto pubblico sul territorio

La gestione dell'immensa mole di informazioni relative all'offerta di trasporto pubblico, avviene attraverso l'organizzazione dei dati, in una struttura interna atta a renderli fruibili, facilmente accessibili ed in grado di individuare le reciproche relazioni funzionali.

Generalmente, in un GIS, l'offerta è rappresentata da una mappa urbana in formato raster, opportunamente georeferenziata, sulla quale sono sovrapposte le varie linee, ciascuna con un layer vettoriale. Alle linee disegnate, sono associati dati di tipo descrittivo e alfanumerico, quali denominazione, frequenza giornaliera (corse/giorno), tempo di viaggio, lunghezza del percorso, velocità media della linea in km/h e capacità del mezzo di trasporto in numero di passeggeri. Il database cartografico contiene inoltre svariate informazioni sui percorsi dei singoli mezzi (fermate, rimesse, capolinea ecc.) e sulle infrastrutture aziendali. Questo tipo di informazioni viene tradizionalmente rilevato tramite sopralluoghi, con l'ausilio dei contachilometri delle vetture.

I dati relativi alla domanda di trasporto pubblico possono essere rappresentati in molteplici modi, ma il metodo più largamente utilizzato la traduce in flussi sulla rete. Risulta perciò utile rappresentare graficamente i flussi di traffico sulla rete nelle loro diverse manifestazioni, ad esempio in termini di:

- utenti saliti/discesi sui mezzi pubblici, in corrispondenza delle fermate;
- carichi di traffico sui diversi rami della rete;
- carichi di traffico per ciascuna linea.

Il gestore del sistema di trasporto collettivo è generalmente interessato a indicatori che esprimano il grado di soddisfazione degli obiettivi da massimizzare: efficienza, efficacia e qualità. Essi possono essere riferiti all'intera rete o alla singola linea. È opportuno chiarire che l'efficienza si esprime tramite il rapporto tra quantità di servizi offerti e risorse impegnate per produrli; l'efficacia rapportata ai costi si esprime attraverso il rapporto tra servizi consumati dall'utente e risorse impegnate dall'azienda; l'efficacia rapportata all'offerta è indicata dalla quantità di servizi consumati rapportata a quella dei servizi prodotti. Infine la qualità è l'intensità d'uso dei servizi da parte della popolazione ed è legata ad un insieme di attributi non sempre esplicitabili attraverso parametri quantitativi; fra gli altri si distinguono i seguenti *parametri*:

⇒ accessibilità (copertura territoriale della rete, numero di veicoli che entrano/escono da una zona ogni giorno);
⇒ disponibilità (es. numero veicoli / popolazione);
⇒ tempi (es. di viaggio, di attesa alla fermata);
⇒ puntualità (probabilità di ritardo);

⇒ pulizia;

⇒ comfort (es. densità a bordo, numero posti a sedere, condizioni dell'aria, inquinamento acustico);

⇒ trattamento (cortesia, professionalità degli addetti).

Per quanto riguarda il servizio offerto si misurano: numero di corse, veicoli / h, veicoli / km, posti / km, posti / h, numero di relazioni Origine/Destinazione servite. Il servizio consumato si osserva mediante la misura del numero di utenti trasportati, dei ricavi e del numero di utenti per km. Infine, le misure relative alle risorse sono: costi operativi, numero di addetti, numero di veicoli, tempo, lavoro, capitale, materiali, energia.

Da queste possono essere derivati molteplici *indicatori* d'interesse, tra i quali i rapporti:

- posti x Km / veicolo (efficienza),
- ricavi / costi (efficacia),
- utenti x Km / posti x Km (efficacia).

La funzione del GIS è proprio quella di semplificare la procedura per l'ottenimento degli indicatori sintetici a partire dalla banca dati costituita.

2.5.2. Miglioramento del servizio di trasporto pubblico attraverso pianificazione e programmazione del sistema

Una volta analizzati e definiti i processi più strettamente conoscitivi ed integrato il database cartografico con le informazioni riguardanti tutti i sottosistemi, è possibile iniziare le fasi di pianificazione e di programmazione del servizio di trasporto.

Esistono dei modelli di pianificazione, ad esempio Hyperplan, utilizzato dall'ATAC di Roma, che possono utilizzare come ingressi le matrici O/D e la struttura della rete. I risultati forniti sono i flussi di traffico ripartiti per linea.

Successivamente, sulla base dei flussi calcolati, modelli di programmazione del servizio (appositamente implementati a seconda della tipologia di azienda) procedono

all'assegnazione dei turni macchina, dei turni uomo e degli orari di partenza, rendendo possibile la formulazione delle tabelle di marcia.

In precedenza si sono più volte citati i sottosistemi dedicati a specifiche aree aziendali, di seguito viene presentata una rassegna di quelli che particolarmente e tipicamente traggono beneficio dall'integrazione con un GIS-T. Si rimanda invece al capitolo 4 per la descrizione dei sottosistemi di AVL[1] e dei nuovi servizi che questi possono introdurre nella gestione del trasporto pubblico (servizi flessibili).

Monitoraggio statistico dei guasti

Anche le analisi statistiche assumono più valore se vengono georeferenziate, ovvero riferite ad ambiti territoriali delimitati. Il metodo classico di monitorare le sofferenze della rete di trasporto, consiste nell'analizzare la numerosità e la tipologia dei guasti e degli incidenti riscontrati in un determinato periodo, prescindendo dal luogo in cui avvengono gli eventi. Con un sistema di gestione guasti basato su GIS, si possono anche visualizzare e posizionare le sofferenze nel luogo esatto dove sono accadute. Ciò consente di :

- evidenziare particolari fenomeni di accumulazione;
- valutare la distribuzione spazio-temporale degli eventi in relazione alla rete di trasporto e alla quantità di servizi offerti;
- creare indicatori di efficienza del servizio, valutando la distribuzione delle sofferenze su ciascuna linea oppure per fasci o tipologia di linee.

Si è quindi in grado di sovrapporre i dati di sofferenza (georeferenziati) con quelli territoriali dei bacini di utenza, riportandoli su mappe tematiche ottenute mediante *l'overlay* di più *layers*. Di conseguenza si può valutare su quale area e su quale popolazione il malfunzionamento di una specifica linea di trasporto impatti maggiormente. Inoltre, disponendo di una lettura in tempo reale dello stato di tutta la rete di trasporto, è possibile valutare l'efficienza puntuale del servizio, anche in termini di impatto sull'utenza nei diversi momenti della giornata.

[1] Authomatic Vehicle Location, sistemi di posizionamento dei veicoli appartenenti ad una flotta.

Le Ferrovie Nord, realizzano annualmente una statistica dei malfunzionamenti e dei disservizi riscontrati, che sarebbe interessante riportare sul territorio mediante un GIS, ottenendo i vantaggi sopraindicati.

Monitoraggio della qualità ambientale

L'aumento dell'efficienza e della qualità del servizio di trasporto pubblico, unitamente al suo potenziamento, potrebbero indurre ad un uso più moderato del mezzo privato e quindi si potrebbe perseguire il fine di migliorare il livello di qualità ambientale (sonora, atmosferica …) in area urbana.

Risulta comunque importante tenere sotto controllo i parametri che descrivono la qualità ambientale in ambito urbano, ed ancora una volta il GIS ci viene in aiuto. La banca dati territoriale, è infatti utilizzabile da modelli matematici finalizzati alla simulazione dei fenomeni di emissione e di dispersione degli inquinanti in atmosfera. Gli output di tali modelli servono per generare mappe tematiche in grado di ricreare gli andamenti di concentrazione degli inquinanti in relazione a scenari urbani critici, come le strade a "canyon" e gli incroci dotati di semaforo. In questo senso il GIS si configura come uno strumento essenziale per la valutazione degli impatti energetici ed ambientali prodotti dal traffico veicolare, e come valido supporto alle scelte tra scenari di traffico alternativi.

Automazione e Monitoraggio della rete di vendita

I terminali delle rivendite dei titoli di viaggio si possono collegare con un centro di gestione e controllo delle funzioni di rivendita. Il collegamento dei terminali con il centro, consente di controllare in tempo reale l'andamento dei flussi di cassa, e quindi di affidare la gestione del servizio stesso ad una società esterna all'azienda.

Una volta elaborate queste informazioni ed organizzate per bacino di utenza, si possono inviare al centro di controllo della flotta circolante. Si ottiene quindi un'immediata percezione dei picchi di vendita che, al limite, permetterebbe di prendere decisioni riguardo l'intensificazione del traffico di mezzi per far fronte ad un'impennata della domanda.

2.6. La situazione italiana

Anche in Italia sono in corso molti studi di fattibilità e ricerche da parte di enti pubblici e privati, al fine di introdurre i GIS a supporto della gestione dei sistemi di trasporto. I fenomeni di crisi del trasporto pubblico locale, infatti, hanno dato impulso a nuove esigenze per un miglioramento degli stessi tanto in area urbana quanto in area extraurbana.

Il regime di concessione, regolato fino ad anni recenti dal Regio Decreto 1822 del 1939, basato su una forma di protezionismo, ha fortemente bloccato nell'arco degli ultimi 50 anni lo sviluppo tecnologico ed organizzativo delle aziende fornitrici di servizi di trasporto pubblico (Guerra, Mazzoncini, Rossi, 1999). La totale assenza di un regime di concorrenza e la poca attenzione verso le esigenze del cliente, inteso come utente di un servizio sociale, hanno bloccato i naturali processi di miglioramento in efficienza e produttività aziendale.

A livello legislativo, tuttavia, recentemente l'approccio alla gestione del trasporto pubblico è cambiato. Nell'ambito delle recenti riforme della Pubblica Amministrazione (Decreto Legislativo Bassanini 422/97) ed in particolare del Settore Trasporti, è stata introdotta una nuova filosofia, fortemente orientata alla soddisfazione dell'utenza ed al monitoraggio di parametri qualitativi e quantitativi di erogazione del servizio. Per far fronte a tali nuove necessità, alcuni Enti locali hanno promosso dei progetti di informatizzazione delle Aziende concessionarie. In Regione Lombardia, per esempio, è in fase di attivazione il Progetto MISTRAL (Monitoraggio Informativo Sistemi di Trasporto Pubblico Locale). Sempre in Regione Lombardia, è stata varata nel 1998 la Legge n°22 per la Riforma del Trasporto Pubblico Locale, che introduce il regime di concorrenza, mediante l'affidamento del servizio di trasporto pubblico per gara d'appalto. I requisiti di prequalifica delle gare imporranno, come già successo in altri Paesi Europei, l'aggregazione tra le aziende esercenti e la conseguente standardizzazione delle procedure di trattamento delle informazioni aziendali.

Ad esempio in Italia è nata un'associazione di aziende private che operano nel settore del trasporto pubblico in concessione. (ANAC, Associazione Nazionale Aziende Concessionarie). In questo contesto le Autoguidovie Italiane stanno lavorando per la

realizzazione di un sistema informativo aziendale completo, il cui modello potrà essere ripreso dalle aziende minori (Guerra, Mazzoncini, Rossi, 1999).

Va notato che la generale arretratezza tecnologica del settore, favorisce l'implementazione ex novo di sistemi di organizzazione aziendale omogenei, basati sull'utilizzo di strumenti tecnologici ed informativi innovativi, quali i GIS. Introducendo l'informazione territoriale georeferenziata nelle aziende è possibile sviluppare una metodologia innovativa di progettazione e gestione di autolinee, tranvie e ferrovie. L'azienda Tramvie ed Autobus del comune di Roma (ATAC) si è recentemente dotata di un Sistema Informativo Territoriale integrato a supporto della sua attività. In particolare il GIS è lo strumento in grado di migliorare, integrare e rendere più trasparenti le informazioni legate alle infrastrutture aziendali ed ai parametri di erogazione del servizio che devono, per legge, essere trasmesse agli Enti Concedenti (Faggioni, Mastrangelo, 1999).

Un esempio di applicazione

Presso il Dipartimento dei Trasporti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Reggio Calabria, si è studiata e realizzata l'applicazione dei GIS per la pianificazione del sistema di trasporto pubblico di Messina. Il sistema, realizzato con il motore GIS TransCad, ha permesso la visualizzazione e l'integrazione degli output di alcuni software di simulazione modellistica della domanda e dell'offerta.

In occasione della redazione del Piano Urbano del Traffico (ai sensi del Nuovo Codice della Strada DDL 285/92), è stata dedicata una particolare attenzione alla riorganizzazione dei servizi di trasporto pubblico; la città ha attivato inoltre le procedure per la realizzazione di una linea tranviaria. Alcune analisi sono state orientate alla valutazione della domanda di trasporto su mezzo pubblico, in vista di un ipotetico riassetto del servizio, che contempla l'introduzione di una linea di tram estesa lungo un corridoio urbano di 5 km. A questo proposito sono state effettuate delle simulazioni relative alle diverse ipotesi di scenario, per consentire di valutare le ripartizioni dei flussi veicolari nei diversi casi. La linea tranviaria progettata dovrebbe modificare sostanzialmente l'accessibilità territoriale, configurandosi come valida alternativa al trasporto privato. Ulteriori elementi di valutazione sono stati perciò dedotti avvalendosi di funzioni di accessibilità temporali. In figura 2.12 è visibile la distribuzione delle

curve di iso-accessibilità al centro, simboleggiato da Piazza Cairoli; essa permette una visione comparativa immediata del grado di raggiungibilità del centro da parte di un cittadino situato in diverse aree urbane, quindi si propone quale misura del livello di servizio offerto alle diverse parti della città. La rappresentazione grafica permette inoltre di valutare il grado di soddisfazione della domanda e di copertura dell'accessibilità rispetto al sistema di trasporto pubblico attuale, al sistema di mobilità privato e ad altre alternative di progetto della linea tranviaria (Carbone, Gattuso, 1999).

Figura 2.12 – Curve di isoaccessibilità territoriale al centro storico di Messina computate nell'ambito di uno studio realizzato alla Facoltà di Ingegneria di Reggio Calabria per la redazione del Piano Urbano del Traffico

2.7. I Sistemi Informativi Geografici e le Ferrovie

L'ottimizzazione della gestione di un sistema di trasporto su rotaia implica lo sviluppo di una infrastruttura informatica completa, efficiente e costantemente aggiornata. Una parte essenziale del sistema informatico è costituita dalle applicazioni a supporto della gestione del ciclo di vita delle infrastrutture, iniziando dalla concezione e dalla pianificazione fino alla manutenzione, passando attraverso le fasi di progettazione, costruzione e gestione quotidiana. Queste attività richiedono la disponibilità di

informazioni geografiche ed ambientali e di dati riferiti alle infrastrutture del sistema. Il primo sistema informativo geografico, secondo Per Anton Fevang, (1998), fu realizzato in maniera "manuale" dalla Compagnia Ferroviaria Nazionale Irlandese (INR), nel 1838, quando venne creata la cartografia tematica inerente alla geologia e alle proprietà amministrative del territorio attraversato dalle linee. Da allora i progressi della tecnologia hanno fatto sì che i sistemi informativi si raffinassero e si arricchissero di un numero sempre maggiore di dettagli e di cartografia tematica, fino ad arrivare all'uso delle rilievi fotogrammetrici aerei. Con l'avvento delle soluzioni informatiche per la razionalizzazione delle informazioni territoriali, partendo dai database, fino alla divulgazione commerciale dei GIS, i tempi operativi di consultazione, elaborazione ed uso dei dati, si sono drasticamente ridotti. In tale contesto sono nati in diverse aziende ferroviarie europee progetti GIS con il fine primario di integrare in maniera organica le informazioni relative al territorio e alle infrastrutture di pertinenza e di produrre e mantenere aggiornata la cartografia delle aree attraversate dalle linee ferroviarie. Inoltre questi sistemi servono come base per applicazioni settoriali specialistiche come la gestione degli impianti di segnalamento, del patrimonio immobiliare, degli impianti elettrici e di telecomunicazione e del loro ciclo di manutenzione. In questo campo fu pioniere il progetto DB-GIS realizzato dalle ferrovie tedesche Deutsche Bahn nel 1992 (Brunner, Schoedl, 1998; Liboni, 1998; OesterHelt, 1998), ma ben presto l'esempio fu seguito dalle Ferrovie Slovene nel 1996 (Sturm, 1997), da quelle Norvegesi nel 1997 (Fevang, 1998), dalla compagnia olandese NS Railinfrabeheer nel 1998 (Kes, 1999) e dalla Compagnia Federale Austriaca, OBB nel 1998 (Brunner, Schoedl, 1999). In sede di UE è stato varato nel 1998 il progetto "Trans European Railway GIS" per il coordinamento del traffico merci tra paesi Est europei. Per ulteriori riferimenti si rimanda alla bibliografia (Sturm, 1999).

Nel presente paragrafo esamineremo le possibilità che si presentano per la costruzione di un sistema informativo ferroviario completo in grado di interagire con gli altri livelli gestionali delle compagnie. Le caratteristiche sono del tutto simili a quelle dei già menzionati sistemi informativi per la manutenzione stradale, ma i GIS per le ferrovie presentano **alcune peculiarità** che è opportuno evidenziare, anche per inquadrare il nostro progetto in un ambito più generale.

➔ Necessitano di un elevato livello di integrazione tra l'ambiente propriamente GIS e le applicazioni di ingegneria civile, elettrotecnica e di telecomunicazioni. Ad esempio i software per l'elaborazione di rilievi topografici, la progettazione ferroviaria assistita dal calcolatore (CAD, Microstation), gli schemi degli impianti elettrici e di sicurezza ed i disegni della rete di comunicazioni.

➔ E' opportuno che siano costruiti in modo da interfacciarsi con modelli di analisi della mobilità e di previsione dell'interazione tra domanda e offerta di trasporto.

➔ Possono integrare anche funzionalità di gestione flotte e monitoraggio in tempo reale del parco veicoli viaggiante, con le modalità discusse nel capitolo 3 e approfondite per il campo delle ferrovie nel capitolo 4.

Poiché non siamo a conoscenza di alcuna realizzazione di sistemi informativi geografici per le ferrovie in Italia, ci sembra opportuno indicare quali possano essere gli **obiettivi**:

- costruzione di una banca dati delle infrastrutture accessorie alle linee ferroviarie, accessibile facilmente da qualunque livello di utenza, anche se in maniera differenziata. A tal fine è opportuno che le maschere di interrogazione del database consentano di presentare i risultati in maniera leggibile intuitivamente, tramite mappe tematiche, tabelle e report.
- Individuazione della capacità attuale delle infrastrutture per valutare eventuali future espansioni.
- Attivazione di una procedura di conversione e standardizzazione dei dati già in possesso della compagnia, generalmente disponibili in molti formati diversi e fisicamente distribuiti tra i vari personal computer degli operatori (database o fogli elettronici personali dei quadri dirigenti) o in diversi sistemi informativi. Ciò include anche la digitalizzazione delle informazioni utili, disponibili solo su supporto cartaceo (disegni, schemi di impianti, ecc.)
- Reperimento della cartografia digitale appropriata alla totale copertura e rappresentazione della rete ferroviaria.
- Costruzione di un interfaccia per lo scambio dei dati e la completa compatibilità con gli altri sottosistemi aziendali (ad esempio quelli di controllo del traffico sulle linee o di programmazione delle tracce orarie).

- Costruzione di uno standard di esportazione dei dati interni all'azienda, verso sistemi esterni. Ad esempio, il database si può mettere a disposizione dei fornitori esterni coinvolti nelle fasi di progettazione, costruzione e manutenzione, i quali, a loro volta, possono arricchirne il contenuto con disegni progettuali e costruttivi.
- Progettazione delle fasi e delle procedure di aggiornamento periodico dei dati.
- Implementazione di un sistema di diffusione capillare delle mappe tematiche, generabili tramite queries al database, attraverso rete Intranet e/o Internet.

Le strategie di reperimento e costruzione del grafo vettoriale delle linee sono del tutto simili a quelle per la costruzione del catasto stradale, infatti si possono equipaggiare dei veicoli a rotaia di attrezzature per il rilevamento cartografico (GPS, telecamere, odometri).

Per quanto riguarda **l'architettura** del sistema abbiamo la necessità di sottolineare le peculiarità che lo distinguono dai catasti e dai sistemi informativi stradali. L'architettura distribuita client /server permette di definire delle zone di competenza attraverso le quali viene gestita l'infrastruttura ferroviaria, collegate in rete geografica ad un server centrale. Si possono individuare tre livelli d'uso: il primo comprende le attività di base per la gestione della cartografia, della topografia e della progettazione ferroviaria. Le workstation di secondo livello sono dedicate ad applicazioni più specialistiche come la gestione degli impianti di segnalamento, dei percorsi, delle telecomunicazioni, dei passaggi a livello e del patrimonio immobiliare. Infine il terzo livello di utenza si occupa di attività complementari, come l'amministrazione del patrimonio immobiliare, la gestione delle procedure di esproprio dei suoli, l'analisi della mobilità, del marketing e della protezione ambientale. Ogni singola centrale di controllo può essere a sua volta implementata con una rete locale (LAN) costituita da un server e da un plot server, ai quali vengono collegate tutte le periferiche di stampa (plotter e stampanti) e le workstation grafiche dei dipartimenti che interagiscono con il GIS.
La struttura di un sistema informativo ferroviario non si discosta molto da quella tipica di un GIS, tuttavia, a seconda delle esigenze della compagnia, può essere modificata ed integrata con diversi moduli e sottosistemi. (si veda in figura 2.13).

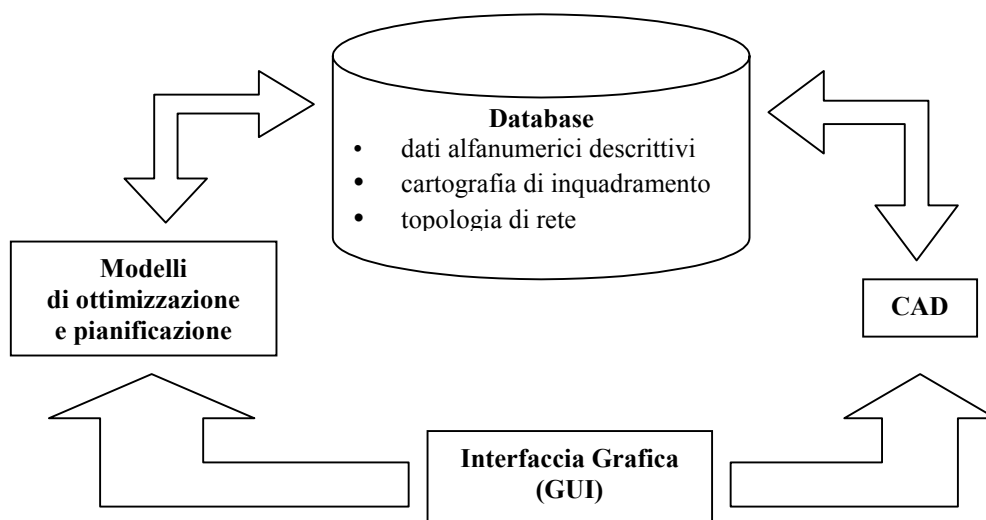



Figura 2.13 – Struttura tipica di un sistema GIS per le ferrovie

Ci pare ora opportuno soffermarci sui **contenuti** tipici di un data-base di un sistema informativo per le ferrovie, che differiscono solo per la loro natura da quelli di un catasto stradale. Per fornire l'adeguato supporto alla pianificazione, programmazione, manutenzione e gestione delle linee, il database deve contenere, oltre alla cartografia digitale, tutte le informazioni relative alle infrastrutture in qualche modo coinvolte in queste attività.

Informazioni generali

- Inquadramento territoriale dell'area di studio
- Dati socioeconomici sui bacini di utenza

Infrastrutture

- Asse dei binari e progressive chilometriche
- Sezioni di linea
- Segnali, semafori
- Scambi e postazioni di controllo
- Nodi, stazioni, fermate
- Ponti e viadotti
- Tunnel, gallerie e sottopassaggi
- Passaggi a livello, incroci con strade e collegamenti con altre linee ferroviarie

- Serbatoi
- Centraline elettriche e gabbiotti di controllo
- Linee di telecomunicazioni
- Pali di sostegno delle linee elettriche
- Traversine e scartamenti

Materiale rotabile

- Locomotive, motrici e ogni tipo di veicolo a trazione
- Carrozze passeggeri
- Vagoni merci

Collegamenti a dati esterni

Nelle tabelle del database è possibile inserire, tra i vari attributi alfanumerici, anche dei collegamenti a file in grado di descrivere meglio lo stato di conservazione delle infrastrutture. Ad esempio, nel record relativo ad un segnale di apertura di una tratta, si può inserire un campo che contiene il percorso di un file immagine o video. In questo modo si può verificare lo stato di visibilità teorica, senza dover intraprendere lunghi e costosi sopralluoghi o visualizzare immediatamente la situazione al contorno di un evento eccezionale, quale il verificarsi di un'emergenza.

2.7.1. Campi di applicazione

Con il supporto di un GIS come quello descritto, sono molte le attività che si possono pianificare, gestire e coordinare effettuando diversi tipi di analisi sui dati dell'infrastruttura ferroviaria e disponendo di ogni tipo di mappa tematica, sia generale che specialistica, a seconda delle esigenze dei diversi dipartimenti. Molte di queste attività sono già state citate per i sistemi di trasporto in generale (analisi di domanda/offerta, identificazione dei flussi di traffico..). Di seguito tracciamo una breve panoramica degli utilizzi tipici di un GIS per le ferrovie, demandando ai capitoli 3 e 4 la descrizione dei vantaggi derivanti da un uso congiunto ad un sistema di posizionamento in tempo reale del materiale rotabile.

Gestione/manutenzione infrastrutture

Tutti i dati relativi alle infrastrutture sono organizzati e mantenuti secondo due differenti criteri: secondo le coordinate geografiche assolute e secondo la posizione relativa al binario (nome della linea o del percorso, sezione e progressiva chilometrica). Questa organizzazione consente una elevata flessibilità di accesso ai dati ed una maggiore capacità di analisi, ad esempio si possono effettuare delle queries per sapere quali sono le tratte più vecchie di una linea e visualizzarne la ripartizione geografica. La cartografia deve assolvere il duplice compito di fornire un inquadramento territoriale e di permettere la visualizzazione fino al livello dei dettagli costruttivi delle infrastrutture distribuite lungo la linea. I dati relativi a questi dettagli vengono comunque immagazzinati nel database alfanumerico, insieme allo stato di conservazione e di manutenzione delle opere e ad eventuali immagini fotografiche, filmati, disegni CAD.

L'utente di un ufficio remoto addetto alla manutenzione è in grado, una volta ricevuto un ordine di lavoro, di individuare facilmente attraverso il GIS, tutte le informazioni correlate all'oggetto dell'intervento. Può quindi comunicarle alle squadre di campo e riportare immediatamente nel sistema le modifiche effettuate durante l'intervento. In questo modo si migliora il livello di automazione delle operazioni quotidiane delle squadre di campo e, nel contempo, si rendono disponibili in continuo gli aggiornamenti delle informazioni a tutti i dipartimenti.

Il gestore della programmazione degli interventi viene peraltro messo in grado di visualizzare la ripartizione geografica dei cantieri, delle opere di ammodernamento e manutenzione e di richiamare le relative informazioni progettuali. Interagendo con i dipartimenti addetti alla regolazione del traffico può quindi programmare la manutenzione in relazione alle esigenze di linea.

Rilievo della geometria dei binari

Le esigenze di sicurezza impongono agli enti gestori delle linee di monitorare periodicamente alcuni parametri relativi alla geometria dei binari: raggio di curvatura, profilo, sopraelevazione, deformazioni, scartamento, allineamento laterale, carico di sopportazione, velocità sopportate ecc. Per effettuare questi rilievi, vengono utilizzate delle motrici dotate di sensori e di sistemi di posizionamento per riferire le misure alle

progressive chilometriche. Ad esempio le FNM possiedono un locomotore dotato di sistemi odometrici per il rilievo delle condizioni dei binari (*track recorder car*).

Le tendenze attuali prevedono l'utilizzo del GPS differenziale come sistema di posizionamento preciso, in grado di georeferenziare i dati collezionati con un'accuratezza submetrica, sia nel sistema di riferimento cartografico (X,Y), sia in quello delle chilometriche progressive e persino di immagazzinarli direttamente nel database di un GIS.

Con l'utilizzo di un GIS, le modalità tradizionali di presentazione dei risultati della registrazione dei binari (tabelle e relazioni, comunque in forma testuale), possono essere integrate da informazioni grafiche. Un esempio per chiarire: dall'informazione sul numero di sezioni di binario in cui si è riscontrata una certa anomalia, si può passare alla visualizzazione della distribuzione spaziale senza lunghe operazioni manuali di posizionamento su mappe (Southby, 1994).

Il GIS classifica automaticamente i parametri misurati in funzione del loro intervallo di ammissibilità ed è in grado sia di visualizzarne la distribuzione in forma grafica, sia di riportarli in forma tabellare. Queste informazioni, insieme a fotografie digitali, satellitari o aeree, possono essere comunque incluse in relazioni discorsive per migliorare il quadro di comprensione. Inoltre ai dati sulla geometria dei binari viene associata la data di registrazione; ciò facilita le attività di programmazione, anche economica, degli interventi di manutenzione e l'assegnazione delle priorità. Disponendo di serie storiche significative si possono infine effettuare analisi e paragoni tra le varie epoche e si può calcolare il tasso di deterioramento delle infrastrutture.

Da mettere in evidenza, infine, che l'occasione di un rilievo della geometria dei binari, può essere sfruttata anche ai fini di una campagna di rilevamento cartografico del grafo ferroviario e delle progressive chilometriche associate, a patto che venga realizzata con un sistema DGPS molto preciso. A questo scopo la motrice dev'essere dotata delle attrezzature e dei sensori inerziali già menzionati nel paragrafo 2.3.1. per i veicoli di acquisizione automatica della topologia stradale (Data Acquisition Vehicle with Inertial and DGPS Equipment). In questo modo i tempi di acquisizione della cartografia digitale risultano molto ridotti: ad esempio, la compagnia americana Burlinton Northern, impiegò un anno a partire dal 1995 per mappare il grafo delle

proprie linee che si estendono per 10000 miglia. Oggigiorno la compagnia americana ENSCO ha messo a punto dei sensori in grado di lavorare su un normale treno a pieno carico ad una velocità di 150 Km/h (TGMS, Track Geometry Monitoring System).

Progettazione ferroviaria

Le postazioni dedicate alle attività di progettazione ferroviaria acquisiscono ed elaborano i dati topografici e geotecnici provenienti dal campo, progettano nuovi binari, eseguono profili e sezioni, creano modelli matematici del terreno ed elaborano i disegni costruttivi dei nuovi impianti. Questo ambiente trae giovamento dall'integrazione con quello GIS attraverso uno scambio costante di dati.

Infine rileviamo l'utilità GIS nelle attività di *Amministrazione delle proprietà fondiarie,* (confini, tasse, concessioni), di *analisi dei flussi di traffico* (capacità della rete, individuazione dei colli di bottiglia, carichi di linea…) e di *gestione delle emergenze* (individuazione del luogo tramite ingrandimenti successivi, collegamento a tabelle indicanti il posto di soccorso più vicino ed i numeri di telefono appropriati, individuazione dell'accesso ai binari più conveniente e del nome della via in cui si trova…).

Tra i diversi progetti GIS sviluppati in ambito europeo segnaliamo nuovamente il DB-GIS realizzato a partire dal 1992 dalle ferrovie tedesche (Deutsche Bahn AG), perché particolarmente significativo, sia per le caratteristiche tecniche che per il volume di dati coinvolti. Il DB-GIS gestisce i dati dell'infrastruttura ferroviaria e li rende disponibili a centinaia di utenti attraverso un'architettura distribuita su tutto il territorio tedesco (Brunner, Schoedl, 1998). Una parte essenziale di questa realizzazione informatica è costituita dalle applicazioni a supporto della gestione del ciclo di vita delle infrastrutture, partendo dalla concezione /pianificazione fino alla manutenzione, passando attraverso le fasi di progettazione, costruzione e gestione quotidiana. In figura 2.14 è mostrata una foto satellitare utilizzata come inquadramento territoriale delle linee di DB.

Figura 2.14 – Cartografia di sfondo del DB-GIS: rilievo fotogrammetrico satellitare

Un esempio interessante per le sue peculiarità è il GIS implementato nel 1998 dalle ferrovie norvegesi NNRA (Norwegian National Rail Administration), al fine di monitorare gli impatti della ferrovia sul territorio e delle condizioni metereologiche sulla geometria dei binari e la sicurezza delle linee (Fevang, 1998). In particolare in Norvegia vi è un forte impatto ambientale dovuto all'attraversamento dei binari da parte di alci, renne, bovini, orsi ed altri animali selvatici, che durante il lungo periodo invernale sono attratte dal percorso delle linee, sgombro di neve. Il numero di animali che cadono vittime della collisione con un treno influenza le quote di caccia imposte dalle autorità statali per l'anno seguente. Risulta quindi importante poter visualizzare ed analizzare la distribuzione delle collisioni al fine di prendere le contromisure necessarie. Questo compito è assolto dal GIS ArcView, che consente anche una serie di analisi statistiche e, come al solito, la creazione di mappe tematiche, come si può vedere in figura 2.15. Per quanto riguarda l'impatto delle condizioni metereologiche sulla sicurezza delle linee, si sono analizzate le frequenze e le distribuzioni di malfunzionamenti dovuti a precipitazioni meteoriche e nevose, valanghe e depositi nevosi straordinari. Una curiosità è l'impatto prodotto dall'irraggiamento solare sulla

geometria dei binari: il metallo si espande con i bruschi cambiamenti di temperatura, provocando errori nello scartamento e nel profilo delle rotaie. Questo problema, contrariamente al senso comune, è particolarmente rilevante nei paesi del Nord, dove il piccolo angolo dei raggi solari sull'orizzonte provoca una lunga esposizione della parte laterale delle rotaie. Questa area è maggiore rispetto a quella più stretta e riflettente della parte superiore delle rotaie che risulta esposta nei paesi equatoriali. Per questo motivo è importante visualizzare l'entità del fenomeno su mappe che indichino dove è necessario prendere provvedimenti.

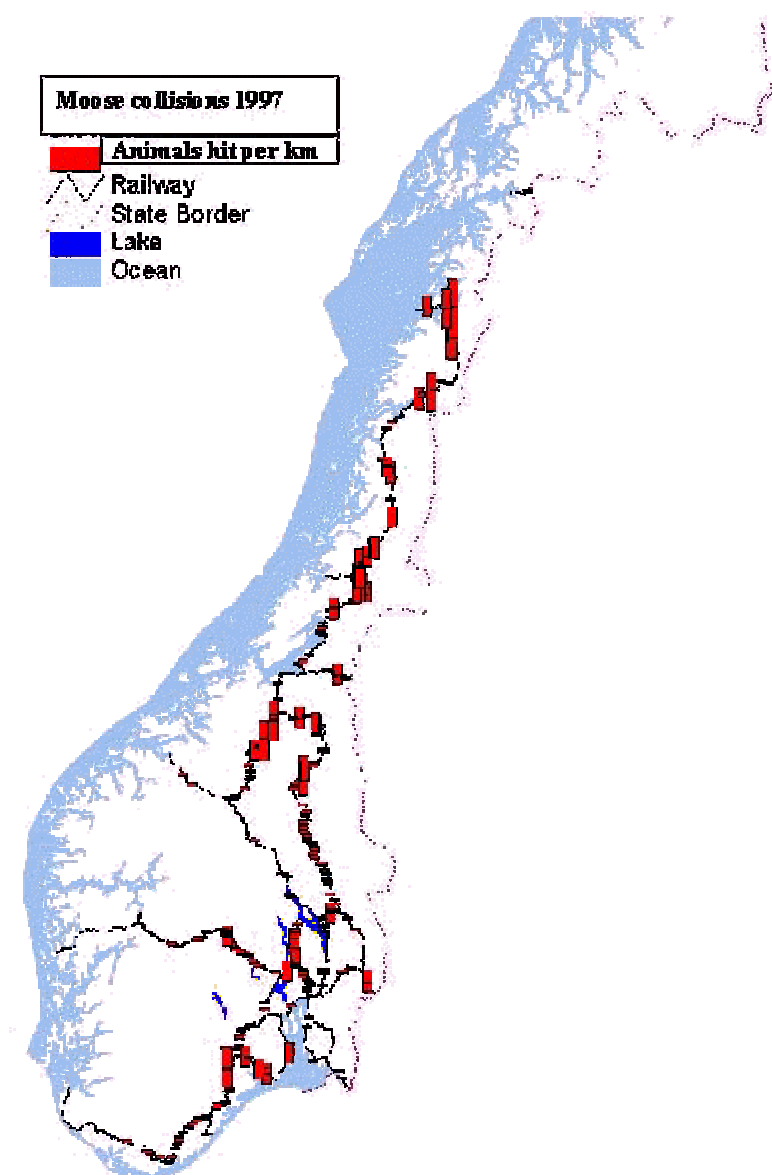



Figura 2.15 – Distribuzione della frequenza di collisione tra alci e treni sulle linee della compagnia norvegese NNR nel 1997

2.8. Conclusioni

Resta da sottolineare che finché la gestione delle reti di trasporto rimarrà frammentata tra i vari enti proprietari o concessionari (Comuni, Provincie, Regioni, enti privati,…) la creazione di sistemi informativi potrebbe risultare un inutile spreco di risorse. Per una gestione che vada oltre la parcellizzazione amministrativa occorrono infatti procedure di standardizzazione dei diversi sistemi, in modo da renderli integrabili e compatibili indipendentemente dagli Enti che li possiedono. Solo così si possono trattare con la necessaria tempestività sia le situazioni di emergenza, dando informazioni omogenee ai diversi tipi di utenza, sia la normale gestione e manutenzione delle reti. Quando si parla di standardizzazione, si fa riferimento alle numerose informazioni che costituiscono i data-base: la cartografia di base e le rappresentazioni vettoriali delle reti, le caratteristiche geometriche e i sistemi di riferimento progressivi, i livelli di servizio e le tipologie viarie, le metodologie di monitoraggio ed analisi del traffico, della viabilità, della segnaletica e dei problemi connessi (incidenti, trasporti speciali). La standardizzazione è infine necessaria affinché i Catasti informatizzati dei singoli enti gestori possano interloquire con i livelli superiori di raccolta informazioni, quali quello nazionale e quelli europei.

Rimangono alcune osservazioni (Lakshmanan, Spear, 1997), a nostro giudizio interessanti, riguardo all'utilizzo dei GIS nel campo dei trasporti, a cui vogliamo dedicare particolare attenzione:

- incapacità di gestire dati tridimensionali,
- difficoltà di gestire le direzioni,
- capacità di gestire matrici origine destinazione.

La maggior parte dei software GIS tratta ogni layer come una mappa piana: ogni elemento spaziale (punto, linea, poligono) è considerato appartenente ad un medesimo piano; le reti di trasporto, siano esse stradali o ferroviarie, sono quindi trattate come elementi complanari privi di dimensione spaziale. L'intersezione fra due linee crea un nodo, anch'esso appartenente al piano del layer, che possiede la caratteristica di delimitare una nuova figura nella mappa. In realtà esistono punti di incontro fra due archi che sono soltanto apparenti. Si pensi ai sovrappassi o ai ponti, in cui l'intersezione

avviene su due livelli differenti. I GIS attuali, avendo una visione piana, gestiscono con difficoltà elementi di questo tipo in quanto non sono in grado di distinguere quando l'incontro fra due linee avviene realmente sullo stesso piano oppure no. In corrispondenza di questi punti bisogna, quindi, creare un nodo a cui siano associati attributi atti ad interpretare le informazioni spaziali. Questi dati aggiuntivi possono però aumentare la dimensione del database ed il grado di complessità della rete che è legato al numero dei nodi che la costituiscono.

Il movimento di veicoli lungo una strada può essere limitato da alcune restrizioni: sensi unici, divieti di svolta a destra o sinistra, divieti di transito, ecc. Anche nelle strade a doppio senso è opportuno indicare quali siano i sensi di marcia per ogni corsia. Risulta importante, sia per le analisi di rete, che per la guida assistita, che tutte queste informazioni, sulle direzioni e restrizioni, siano memorizzate e gestite all'interno del GIS. In realtà il software gestisce con difficoltà anche questo genere di informazioni: la restrizione del senso di marcia, infatti, viene memorizzata attraverso un indicatore From/To o To/from, ma i punti di inizio e fine sono quelli con cui è iniziata o terminata la digitalizzazione della linea. Occorre quindi essere in grado di determinare la topologia della rete digitalizzata, il che conferisce al GIS caratteristiche di scarsa flessibilità.

L'analisi dei sistemi di trasporto prevede l'utilizzo di matrici O/D che riportano il flusso (o i viaggi) tra il punto di origine e quello di destinazione attraverso il percorso minimo. Il software GIS deve quindi essere capace di trattare informazioni di questo tipo. In particolare deve essere in grado di: creare e manipolare matrici, individuare il punto di origine e destinazione sulla rete di trasporto, associare ai percorsi i flussi.

Le zone di origine o destinazione possono assumere le forme più svariate e possono rappresentare porzioni di territorio molto differenti: dalla singola abitazione alla regione. Nella matrice O/D, in genere, tali zone vengono identificate attraverso codici particolari mentre sulle mappe vengono rappresentate da punti o aree a seconda dell'estensione. Il GIS-T deve essere in grado di trovare il nodo, appartenente alla rete, più vicino alla zona di origine o destinazione e sostituire il codice del nodo trovato, con quello della matrice. Altrimenti il software potrebbe creare un nuovo nodo in prossimità dell'area scelta o, addirittura, potrebbe creare una nuova linea di collegamento tra il

nodo più vicino, appartenete ad una linea esistente, e la porzione di territorio considerata.

Per poter assegnare il flusso al percorso, il software deve prima calcolare, attraverso un specifico algoritmo, il cammino minimo e poi associargli il flusso, tenendo conto dell'asimmetria del dato. A seconda che ci si muova dal punto di origine A al punto di destinazione B o viceversa il flusso non è lo stesso, anche in questo caso, quindi, risulta essere molto importante la direzione del senso di marcia. Così facendo però vengono eliminati tutti i percorsi alternativi ai quali viene associato un flusso nullo, il che non corrisponde a realtà. Alcuni GIS eseguono analisi più complesse in questo senso cercando di associare il volume di traffico anche alle caratteristiche della rete e non soltanto al minimo percorso, in modo da rappresentare verosimilmente la realtà.

3

I SISTEMI DI LOCALIZZAZIONE AUTOMATICA DEI VEICOLI (AVL)

Nell'ultimo decennio si è aperta la possibilità per i GIS di acquisire ed aggiornare dati in tempo reale. Nel frattempo la tecnologia di posizionamento satellitare (GPS), disponibile per usi civili dal 1993, ha visto un'ampia diffusione commerciale, accompagnata da un abbattimento dei costi dei ricevitori. Si sono quindi create le premesse per l'integrazione delle due tecnologie, utile soprattutto nel rilevamento topografico di precisione e nel monitoraggio di oggetti mobili. In particolare, nel campo dei trasporti, l'accoppiamento tra metodi di posizionamento veicolare e GIS, apre le porte alla diffusione dei sistemi di localizzazione automatica dei veicoli (*AVL, Automatic Vehicle Location*). La tecnologia AVL è usata sia per monitorare in tempo reale una flotta di veicoli dotati di GPS, sia per la navigazione assistita a bordo dei veicoli stessi. Il monitoraggio avviene in una centrale di controllo che riceve i dati di posizione, elaborati dai ricevitori GPS, tramite una rete di comunicazioni mobili.

Nel primo paragrafo sono illustrate le caratteristiche che hanno permesso ai GIS di interagire con i GPS. Nel secondo viene illustrata l'architettura dei sistemi di AVL per la gestione di flotte e la navigazione assistita e viene presentata una panoramica delle applicazioni che ne traggono beneficio. Nel terzo paragrafo sono descritti i vantaggi che un sistema di AVL comporta per le Aziende di Trasporto Pubblico. Nel quarto, vengono presentate alcune estensioni ai GIS commerciali, che consentono di ricevere dati GPS e di trattare più agevolmente le problematiche tipiche dei trasporti (gestione di reti, percorsi ottimi, ecc.), ad esempio introducendo la segmentazione dinamica.

L'interfaccia GIS da noi implementata, è un software di gestione flotte che si avvale di un AVL basato sul sistema di posizionamento satellitare GPS. Al termine del presente capitolo, il lettore dovrebbe aver maturato un'idea completa delle potenzialità di un sistema di questo tipo.

3.1. GIS per i sistemi AVL

All'atto della loro concezione, i Sistemi Informativi Geografici erano incapaci di memorizzare e analizzare informazioni dinamiche: erano nati per rappresentare lo stato di fatto spaziale all'istante di tempo corrispondente all'atto di digitalizzazione della cartografia. La dimensione temporale, implicitamente presente in ogni dato spaziale, veniva così congelata e, per rappresentare i cambiamenti, si dovevano generare differenti mappe tematiche della stessa area. Tale approccio può essere utile per trattare informazioni che evolvono lentamente nel tempo, come uso del suolo, infrastrutture, vegetazione, popolazione etc. Per questo motivo la diffusione dei GIS nel campo dei trasporti era limitata alla visualizzazione, selezione ed interrogazione di dati spaziali statici, quali infrastrutture fisse, percorsi periodici, statistiche territoriali, come illustrato nel capitolo 2 e nell'appendice 2. Molti degli oggetti che si devono rappresentare in ambito trasportistico, però, hanno una dinamica veloce, sia nel muoversi, sia nel cambiare i loro attributi (veicoli, passeggeri, flussi di traffico). Un numero crescente di applicazioni, infatti, richiede la localizzazione in tempo reale di veicoli (*Vehicle Tracking*), con visualizzazione su mappe digitali (logistica, gestione flotte, consegne, instradamento o *routing*, programmazione o *scheduling*, etc.).

Per poter supportare queste attività, i motori GIS devono essere in grado di ricevere e processare in background i dati in tempo reale, in modo da non compromettere le normali funzioni offerte. Inoltre la posizione degli oggetti mobili dev'essere aggiornata senza dover ridisegnare tutte le mappe visualizzate. Dall'avvento dei processori PENTIUM, le potenze di elaborazione raggiunte e la disponibilità di memoria a basso costo, hanno consentito di implementare diverse tecniche per introdurre nei GIS questo tipo di funzionalità. Ad esempio la ESRI ha messo a punto la possibilità di sovrapporre ai vari livelli cartografici statici, un layer dinamico, aggiornabile molto rapidamente con dati provenienti da altri sottosistemi (*Tracking Layer*). Le altre case produttrici hanno risposto in maniera simile, tanto che, oggigiorno, tutti i motori GIS commerciali (Intergraph MGE, Autodesk AutoCad Map, MapInfo) sono in grado di trattare la dinamica di oggetti in movimento, come funzionalità base o all'interno di particolari estensioni e plug-in (alcuni di essi sono descritti nel paragrafo 3.6).

Attualmente, quindi, la tecnologia GIS può essere applicata, oltre che nel campo dei trasporti, anche in quei settori in cui la dinamica non può essere trascurata, come la zoologia (si veda Groom e Kemp, 1994), l'ecologia (tracciamento di animali per la cattura e ricattura), il monitoraggio delle copertura delle reti di radiocomunicazioni e di telefonia mobile, etc. In particolare nel settore dei trasporti, grazie all'evoluzione ed alla diffusione dei sistemi di posizionamento in tempo reale, i motori GIS forniscono le funzionalità necessarie ad aggiornare a brevi intervalli di tempo le posizioni dei veicoli. Le coordinate necessarie vengono trasmesse al GIS dai sistemi di posizionamento[1] attraverso una rete di telecomunicazioni. Il congiunto di queste tecnologie (posizionamento, trasmissione dati e controllo operativo su mappa digitale) viene definito sistema di AVL (Automatic Vehicle Location) o AVM (Automatic Vehicle Monitoring).

3.2. Gestione di flotte

Il sistema di gestione flotte consente il controllo ed il coordinamento di un insieme di veicoli che operano in un determinato ambito territoriale ed afferiscono ad una centrale di controllo. Per effettuare queste operazioni la posizione dei veicoli dev'essere nota in continuo o su richiesta degli operatori in centrale; il compito di rilevarla viene affidato ad un sistema di Localizzazione Automatica dei Veicoli, che consiste in quattro componenti separate che interagiscono tra loro (si veda anche la figura 3.1):

1. Sistema informativo di bordo, comprendente una o più tecniche di posizionamento in tempo reale dei veicoli;
2. Centrale di Controllo della flotta;
3. Rete di telecomunicazioni tra centrale di controllo e mezzi circolanti;
4. Infrastrutture di terra e sistema informativo all'utenza.

Generalmente la strumentazione di bordo comprende un ricevitore GPS accoppiato ad un microcontroller, connesso con un radiomodem che, per mezzo di una rete di comunicazioni mobili, invia ad una Centrale di Controllo i dati di posizione, velocità e

---

[1] Il sistema di posizionamento satellitare è attualmente l'unico utilizzato, ma alcuni esperimenti sono stati effettuati con sistemi a boe ottiche e radiotrasmittenti (*marker, transponders*).

direzione del mezzo, nonché i parametri di qualità del posizionamento ed i messaggi di errore. Alla Centrale operativa vi è un altro radiomodem che, tramite un processo di comunicazione detto *polling*, riceve ciclicamente i pacchetti di dati provenienti dalle varie unità circolanti. Queste informazioni costituiscono gli input del programma di gestione flotte, che visualizza la posizione dei veicoli su cartografia digitale e amministra le comunicazioni veicolo-centrale. Tuttavia esistono molte variazioni nelle componenti dell'architettura funzionale base, indicata in figura 3.1, che vanno discusse per capire a fondo le problematiche e le potenzialità di un AVL.

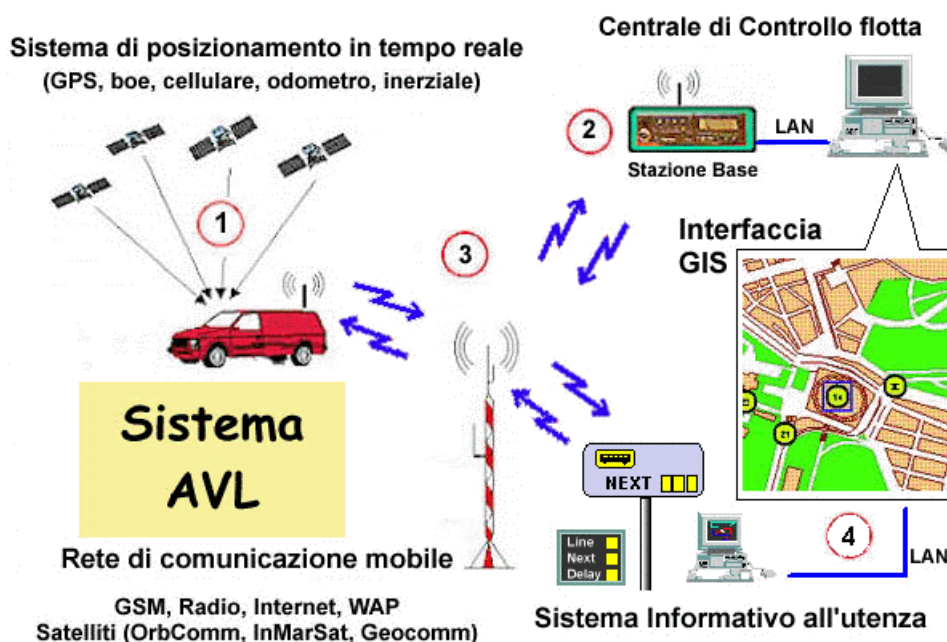



Figura 3.1 - Componenti di un Sistema di Localizzazione Automatica dei Veicoli

Sistema informativo di bordo

La componente principale è il sistema di posizionamento montato su ciascun veicolo; le tendenze attuali sono quelle di integrare tre diversi metodi, al fine di raggiungere una precisione dell'ordine metrico anche in ambiente urbano:

- **ricevitore GPS** con correzione differenziale, in grado di raggiungere elevate precisioni di posizionamento, dipendenti dal modello, in ambienti extraurbani. I costi ridotti (sotto il milione di lire per ricevitori a 12 canali), le dimensioni

contenute e la facilità di installazione, ne fanno il dispositivo più diffuso nel controllo delle flotte. In figura 3.2 è mostrata una scheda OEM con relativo chip Ashtec, in grado di ricevere i segnali dai satelliti Navstar e GLONASS; tali schede sono generalmente predisposte per ricevere le correzioni differenziali, in questo caso vanno integrate con un sistema di ricezione, ad esempio un radiomodem e sono contenute all'interno di un box come mostrato in figura 3.3.

- **Piattaforma inerziale,** o sensori direzionali: un giroscopio individua la direzione di marcia del mezzo, *heading* (figura 3.4).
- **Segnale odometrico,** ovvero estrapolazione dello spazio percorso in base alla velocità di marcia da tachimetro.

Gli ultimi due sistemi, detti di *Dead Reckoning*, sono utili per correggere gli errori del GPS o per supplire alla temporanea degradazione ed assenza del segnale satellitare, molto frequente in ambienti urbani. La posizione viene ricalcolata ed interpolata via firmware in base alle condizioni di marcia precedentemente registrate. La maniera in cui si integrano le tre tecniche di posizionamento è illustrata in 3.5.

Figura 3.2 - Ricevitore GPS a scheda OEM con chip Ashtec a 12 canali (dimensioni 10x6x2 cm)

Figura 3.3 – A sinistra Box di dimensioni ridotte (23x10x3 cm) contenente una ricevitore GPS Trimble ad 8 canali ed un radiomodem per le correzioni differenziali. A destra un radiomodem della Ashtec, da collegare poi con il ricevitore GPS (9x13x5 cm)

Figura 3.4 - A sinistra una piattaforma inerziale da veicolo leggero (fino a 10 ton) della Magneti Marelli, che integra un odometro di precisione ed un giroscopio. Nella parte destra della figura è mostrato invece un giroscopio della Trimble

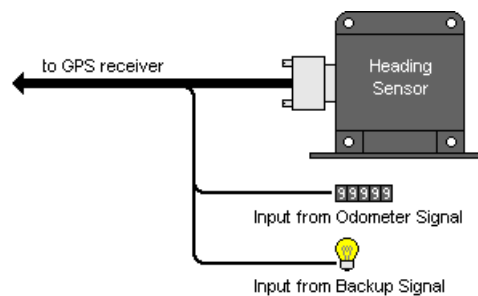



Figura 3.5 – Sistema di Dead Reckoning composto da giroscopio (heading sensor), odometro e indicatore del verso di marcia (backup signal). Quest'ultimo serve per sapere se il dato odometrico (contachilometri) è riferito alla marcia avanti o indietro

In genere l'uso integrato di questi tre sistemi fornisce un posizionamento abbastanza accurato per le applicazioni di gestione flotte. Tuttavia, per completezza, segnaliamo l'esistenza di altri metodi per il posizionamento utilizzati prima dell'avvento e della diffusione del GPS, specialmente per quanto riguarda i mezzi di trasporto pubblici che seguono percorsi ricorrenti, vincolati alle linee di servizio o addirittura alla presenza di rotaie e di cavi elettrici per l'alimentazione (tram, treni, filobus). Un metodo in uso nel campo ferroviario è trattato nel capitolo 5, mentre per quanto riguarda le tecniche utilizzate per mezzi urbani di linea citiamo le boe ottiche o a radiofreuqenza (*marker, side transponders*). Il principio di funzionamento prevede che quando il mezzo passa in determinati punti dove sono installate le boe (*checkpoint*), a bordo si azzeri il conteggio dello spazio percorso che avviene tramite odometro e si invii il dato corretto alla centrale operativa (figura 3.6). Le boe ad infrarossi prevedono che un sensore ottico di terra si attivi quando passa il mezzo dotato di bande catarifrangenti ed hanno l'intuibile difetto di non funzionare se sono presenti ostacoli visivi tra veicolo ed apparato di terra

(figura 3.7). Le radioboe sono costituite da un ricevitore posizionato a terra e da un trasmettitore montato sul mezzo che si comunicano a frequenze molto elevate quando si trovano alla distanza appropriata (figura 3.6). L'ATM di Milano si è dotata di un sistema che utilizza boe a microonde radio in banda UHF 421 Mhz, sin dal 1988. I *marker* sono distribuiti lungo le linee, circa ogni 2 Km e comunque in tutti i capolinea ed hanno un raggio di trasmissione di 100m. La posizione corretta viene inviata via radio alla centrale di controllo insieme ai metri percorsi ed al tempo trascorso dall'ultima trasmissione, ogni qualvolta che questa chiama i mezzi tramite un processo automatico (attualmente ogni 30 secondi). In questo modo, con l'ausilio di un programma installato nel 1996, che fornisce la previsione dei tempi di percorrenza, è possibile gestire sia la programmazione dell'esercizio, ottimizzando l'uso di vetture e conducenti, sia la pianificazione degli orari, per aderire alle condizioni reali del traffico e della domanda da parte dell'utenza.

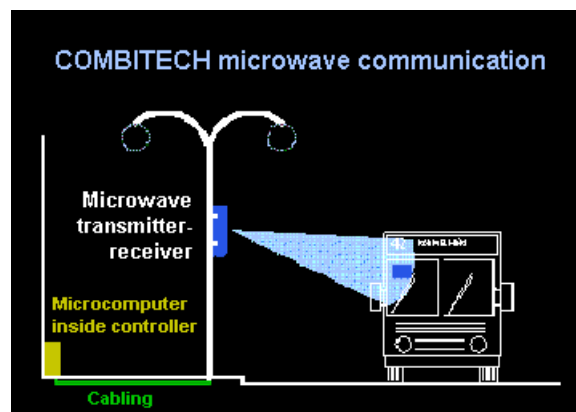



Figura 3.6 - Marker o boa a microonde radio per la localizzazione dei mezzi

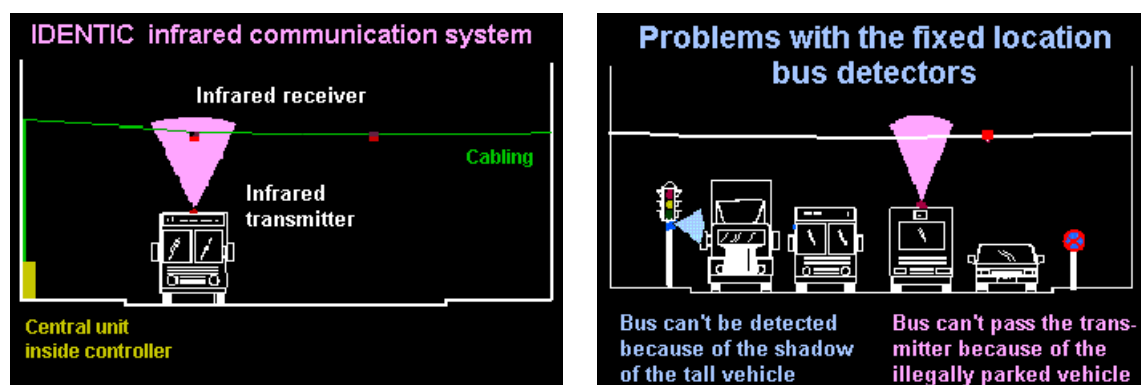



Figura 3.7 - Marker ad infrarossi e problemi connessi per la mancanza di visibilità

Tornando alla descrizione del sistema informativo di bordo, oltre all'hardware per il posizionamento è necessario un sistema di trasmissione dei dati di posizione alla centrale di controllo ed un software in grado di organizzarli e renderli nel formato adatto alla rete di comunicazioni utilizzata. Questo richiede l'aggiunta di un minicomputer di bordo, ad esempio una scheda microcontroller, nel cui firmware risiede il programma che impacchetta i dati da inviare al modem. L'insieme delle due schede (GPS e controller) e del radiomodem può essere racchiuso in un unico box che generalmente viene installato all'interno della cabina di guida. Nelle figure 3.8, 3.9, 3.10 e sono riportate alcuni esempi di box già assemblati con le tre componenti, di dimensioni variabili a seconda del tipo di rete di comunicazioni utilizzata (GSM, InMarSat, Radio). Da rilevare che il radiomodem non sempre può assolvere il duplice compito di ricevere le correzioni differenziali e di inviare i dati di posizionamento; questa possibilità dipende dal tipo di rete di comunicazioni scelta per entrambi i processi.

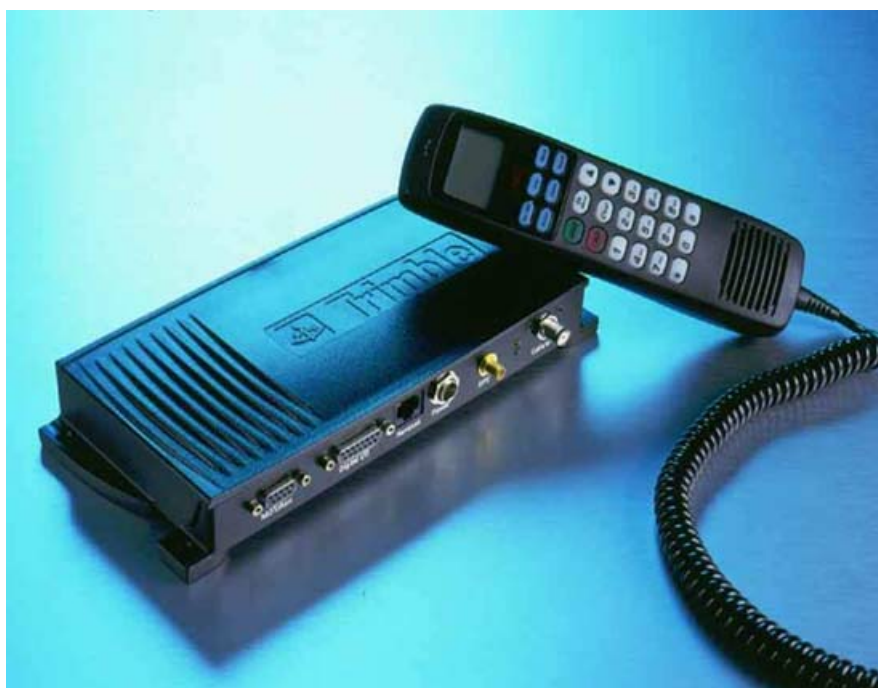



Figura 3.8 –Ricevitore GPS Trimble a 8 canali integrato con un modem per rete GSM, in grado sia di ricevere correzioni differenziali, sia di dialogare con la centrale di controllo e con un'unità per comunicazioni vocali. Dimensioni: 25x12x5 cm

Figura 3.9 – Ricevitore GPS Trimble a 8 canali integrato con un trasmettitore satellitare a Inmarsat-c, in grad o di ricevere le correzioni differenziali somministrate dai satelliti Omnistar e RACAL

Figura 3.10 – Ricevitore GPS Magellan integrato con radiomodem per canali dedicati UHF e trunking, in grado di ricevere le correzioni differenziali somministrate da una stazione radio di base (radio beacon)

Alle componenti essenziali si aggiungono le 3 antenne da installare sul tetto del mezzo, nel punto meno coperto possibile: quella del ricevitore GPS (figura 3.11), quella del radiomodem e quella della ricezione di correzioni differenziali. Nel complesso l'architettura del sistema informativo di bordo è rappresentata nel dettaglio dei collegamenti in figura 3.12.

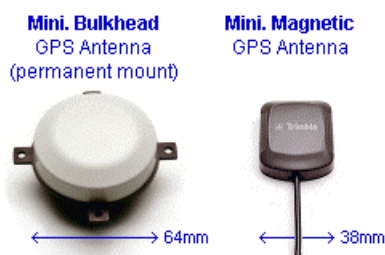



Figura 3.11 – Due diversi tipi di antenna GPS Trimble: a sinistra fissa, a destra mobile, magnetica

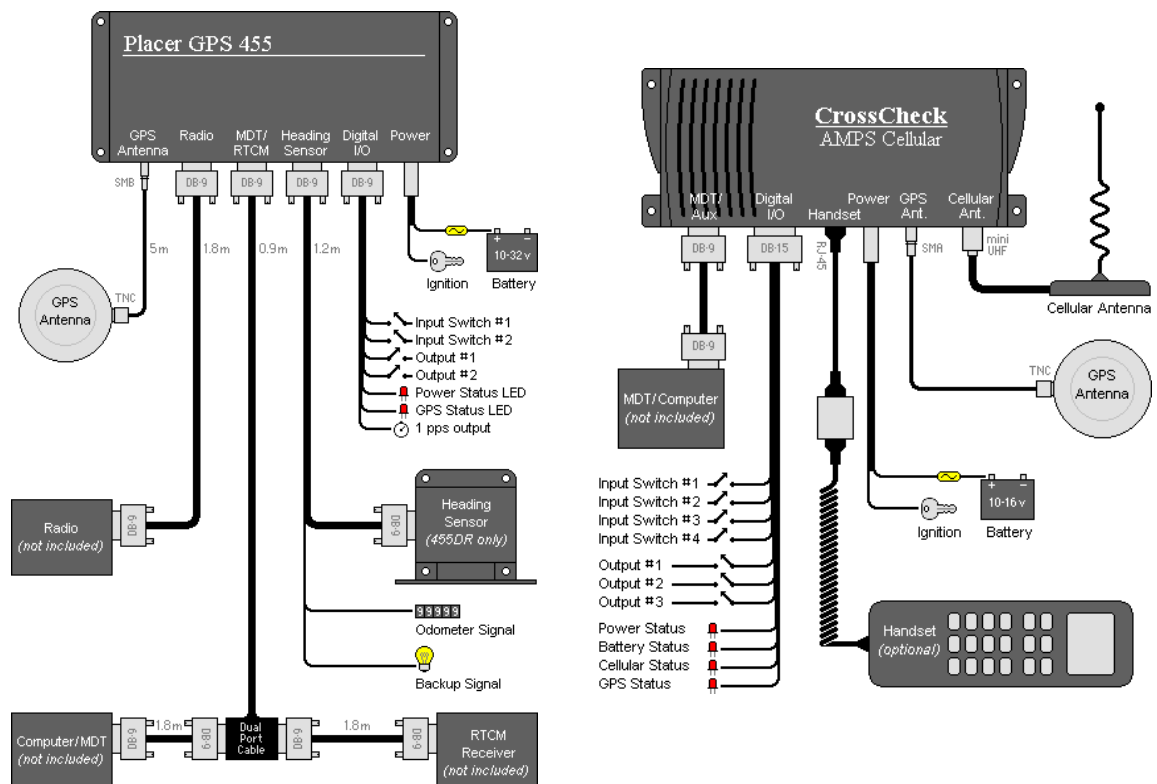



Figura 3.12 – Dettaglio delle porte e dei collegamenti in uscita dal ricevitore GPS. A sinistra lo schema è riferito all'integrazione con un sistema radio, a destra con rete GSM. Si possono notare la porta RTCM per le correzioni differenziali via radio (radiobeacon) e quella per il radiomodem UHF, a sinistra, o GSM a destra

Per completezza rileviamo che a bordo di ogni veicolo è possibile installare una serie di periferiche allo scopo di estendere le funzionalità del sistema in base alle esigenze specifiche derivanti dalle diverse tipologie di flotte, ad esempio:

- Sensori per trasmettere alla centrale operativa le condizioni meccaniche del mezzo, quali: temperatura dell'olio, livello del carburante, pressione dei pneumatici, temperatura della cella frigorifera eventualmente presente.
- Telecamere per la trasmissione delle immagini dal veicolo alla centrale di controllo.
- Microfoni per ascoltare in centrale ciò che avviene a bordo veicolo.
- Attuatori per comandare dalla centrale operativa azioni quali lo spegnimento del motore, bloccaggio delle porte, interruzione dell'iniezione del carburante etc...
- Lettori di badge magnetici e di carte di credito per il pagamento in tempo reale.

- Display e tastierini alfanumerici per la ricezione e l'invio di messaggi alla centrale operativa (figura 3.13) ed eventuali stampanti.
- Bottone antipanico per segnalare situazioni di emergenza.

Figura 3.13 – Periferiche di bordo con LED e tastierino alfanumerico per lo scambio di messaggi tra centrale di controllo e veicoli della flotta

Centrale di Controllo

I compiti della centrale di controllo si diversificano molto a seconda del tipo di flotta che si deve gestire, tuttavia esistono alcune caratteristiche generali, di seguito illustrate, che accomunano tutte le applicazioni. Ad ogni tipo di centrale operativa, attraverso la rete di comunicazioni, giungono le informazioni relative allo stato dei veicoli. Con stato intendiamo, oltre al basilare dato di posizione, tutte gli altri parametri sopra accennati che si possono rilevare a bordo di un unità mobile, in particolare anche eventuali messaggi di errore.

Il processo di comunicazione dei dati relativi al monitoraggio dei mezzi in movimento può avvenire secondo due modalità:

- uso di un protocollo di *polling,* un processo automatico e continuo, che interroga ciclicamente tutti i veicoli della flotta e restituisce i dati in un unico pacchetto;
- invio della posizione di uno o più mezzi specifici solo su richiesta della centrale.

La prima modalità presenta il vantaggio di permettere il monitoraggio continuo di ciascun mezzo, ma comporta un'elevata occupazione del canale di comunicazione e di conseguenza un costo superiore, soprattutto nel caso di utilizzo del sistema di telefonia

cellulare con flotte numerose. La frequenza di aggiornamento dipende comunque dal sistema di comunicazioni scelto e dalla numerosità della flotta, ad esempio sotto i 10 veicoli e con un sistema radio UHF si calcolano minimo 1,5 secondi per ciascuna interrogazione. In ogni specifico caso può essere scelta la strategia più idonea a soddisfare i requisiti operativi e a minimizzare l'occupazione del canale di comunicazione. D'ora in avanti ammettiamo di utilizzare un processo di *polling* dato che la flotta di treni delle FNM, circolante sulla linea MI-CO, non raggiunge mai numerosità molto elevate.

Alla centrale si compie l'ultimo atto del *polling:* il pacchetto di dati viene ricevuto da un radiomodem analogo a quello montato sui veicoli e decodificato da un software di gestione flotte, in modo da attribuire le informazioni alle singole unità mobili. Il software della centrale ha il duplice compito di governare i processi di comunicazione e di costituire l'interfaccia con gli operatori visualizzando graficamente la posizione dei veicoli su mappe digitali.

Per il carattere territoriale delle informazioni da trattare risulta naturale l'uso di un software GIS, eventualmente integrato da moduli per la gestione delle flotte e delle comunicazioni (alcuni esempi nel paragrafo 3.4). Le funzionalità principali del software di gestione flotte sono:

- rappresentazione dei veicoli in movimento sulla base cartografica tramite icone variabili a seconda dello stato e del la tipologia del mezzo;
- gestione della cartografia a raster e vettoriale ttraverso le più comuni operazioni proprie di un GIS: zoom, pan, ricerca indirizzi, identificazione vie, visualizzazione di punti di interesse (figura 3.14);
- gestione dei processi di comunicazione, supportando diversi protocolli (GSM, trunking, radio UHF/VHF e satellitari);
- gestione della messaggistica centrale-conducente, tramite invio di messaggi di testo o vocali ad uno o più veicoli.

Altre funzionalità possono essere aggiunte a seconda del tipo di flotta che si vuole amministrare, ad esempio: interrogazione di database di orari teorici, generazione di grafici e tabelle orarie in tempo reale, conservazione dei dati in file storici, trattazione di messaggi di allarme e di errore del sistema etc.

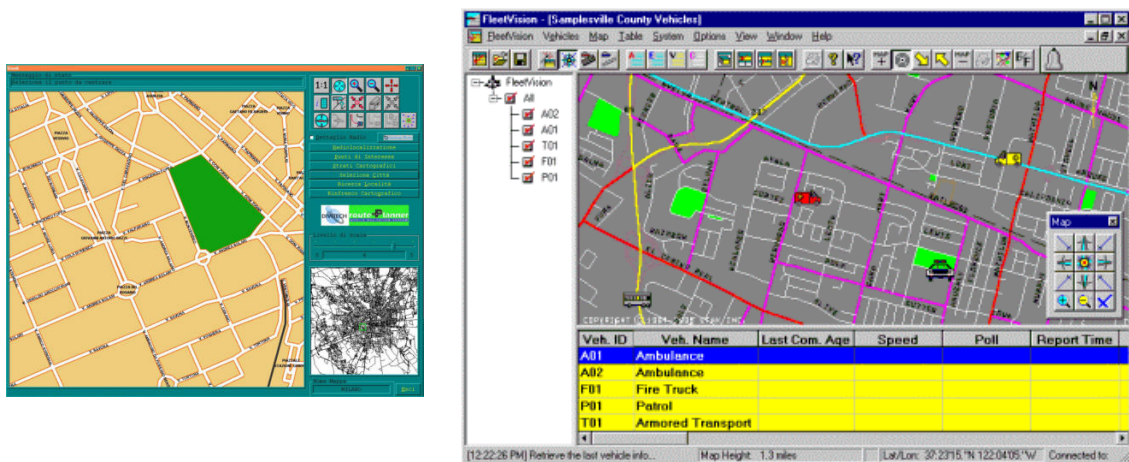



Figura 3.14 - Due schermate di interfaccia GIS per la visualizzazione della posizione dei veicoli in ambiente urbano

Da rilevare che per posizionare i veicoli sulle mappe, una volta che il pacchetto di dati del *polling* giunge alla centrale, il software deve effettuare una serie di conversioni di coordinate tra diversi sistemi di riferimento: dal sistema WGS 84 (World Geodetic System of 1984) usato dal GPS, si passa al grigliato UTM (Universal Transverse Mercator), proiezione cartografica utilizzata per la cartografia di sfondo, infine al sistema di riferimento sullo schermo, in pixel. In questa fase la posizione espressa in coordinate geografiche, viene ricalcolata ed interpolata in base alla cartografia digitale. L'operazione, detta di *map matching*, consente di migliorare la precisione del posizionamento e si basa sui vincoli imposti dall'esistenza della rete stradale o ferroviaria, comprese le corsie di marcia ed i sensi unici.

Anche la struttura hardware della centrale operativa varia a seconda dell'applicazione; è comunque sempre costituita da una rete locale (LAN) di personal computer e workstations (clients) che fanno riferimento ad un server sul quale risiedono i database principali. Una macchina deve svolgere la funzione di interfaccia verso il sistema di comunicazione.

Rete di telecomunicazioni

Tutte le informazioni che vengono scambiate tra unità mobili e centrale di controllo passano attraverso la rete di comunicazioni, per questo la scelta del tipo di canale influisce molto sull'efficienza e la rapidità del sistema. Tra i molti fattori che la

influenzano vi sono quelli relativi al territorio da coprire: estensione, topografia e orografia, grado di infrastrutturazione e urbanizzazione cui è soggetto, quantità di disturbi elettromagnetici rilevabili e di trasmissioni già presenti.

Canali radio dedicati in banda UHF e VHF servono allo scopo in ambiti geografici limitati ed in zone già coperte da ripetitori che, generalmente, coincidono con quelle urbanizzate; d'altro canto le licenze d'uso sono ormai difficili da reperire, tali frequenze sono soggette a molte interferenze e a problemi di mantenimento della sicurezza e della privacy (Luis Perez, comunicazione personale, 1999). A titolo di esempio riportiamo il progetto per la Questura di Torino, dove la radiolocalizzazione delle volanti è effettuata via radio, sfruttando gli apparati sicuri OTE esistenti sulle Marea che la FIAT ha progettato appositamente per il Ministero dell'Interno. Tale metodologia verrà estesa alle Questure di altre città ove sia disponibile una copertura radio adeguata.

I Sistemi di *trunking* hanno come condizione fortemente limitante, l'ampiezza del territorio, inoltre hanno un elevato canone di noleggio dei canali dedicati.

L'uso della rete GSM commerciale, dove esiste copertura adeguata, risulta ottimo, ma presuppone elevati costi di trasmissione di ogni singolo messaggio (stanno scendendo quelli dei messaggi SMS). In generale la scelta del canale GSM consente di garantire agli utilizzatori del sistema una copertura completa del territorio sia nazionale che europeo ed un miglioramento costante del servizio per il futuro (WAP).

Infine per applicazioni che richiedono il monitoraggio di veicoli su scala mondiale, o nei paesi dove non esiste rete telefonica GSM, si deve ricorrere all'uso di satelliti geostazionari come Immarsat, OrbComm Iridium, GlobalStar e l'italiano GeoComm, della Telespazio. Il principale difetto sta negli elevati costi di affitto del canale, seguito dalla lentezza di trasmissione (Hafberg, 1995; Beckert, 1999). Un vantaggio è invece costituito dagli elevati standard di sicurezza riscontrabili. Di solito il canale satellitare viene utilizzato per monitorare grandi navi, aerei, veicoli militari, vetture diplomatiche, ma negli USA trova applicazione anche per i treni merci ed i camion a lunga percorrenza.

Infrastrutture di terra

Le infrastrutture di terra permettono sia di fornire le informazioni all'utenza (pannelli alle fermate o a bordo, informazioni vocali a bordo e punti di informazione nei nodi più

importanti), sia di gestire le operazioni di carico e scarico dei dati di esercizio tra veicoli e centrale. Per una descrizione compiuta dei sistemi di informazione all'utenza si rimanda al paragrafo 3.3.1.

3.2.1. La Navigazione Assistita

Conoscere con continuità la posizione del proprio veicolo può essere utile anche dal punto di vista del conducente, per esempio per ottenere ausilio nel raggiungimento della destinazione prescelta. Con un AVL è possibile soddisfare questa esigenza spostando la prospettiva verso i veicoli che consultano la centrale operativa solo in caso di estremo bisogno. In pratica il conducente deve disporre dei dati di posizione del veicolo e di una cartografia di appoggio per visualizzarli ed interpretarli. Logicamente la disponibilità di queste informazioni comporta l'ampliamento del sistema informativo di bordo con del nuovo hardware:

- display a colori di tipo LCD 5,6" per la visualizzazione delle informazioni grafiche di ausilio alla guida, della cartografia e dei menu per l'attivazione dei comandi da parte dell'utente (figura 3.15);
- computer di bordo dotato di software GIS che esegue gli algoritmi di navigazione, gestisce la cartografia digitale ed esegue le operazioni di correlazione del dato di posizionamento con la rete stradale digitalizzata (*map matching*);
- Lettore dei CD-ROM contenenti la banca dati cartografica relativa alla zona di navigazione (figura 3.15). In Italia esistono almeno tre società che distribuiscono periodicamente CD-ROM contenenti la cartografia digitale aggiornata atta alla navigazione assistita (TeleAtlas, Navtech e Elda Ingegneria).

Figura 3.15 - Componenti di un sistema di navigazione assistita (display LCD, lettore CD-ROM con microprocessore integrato e telecomando)

Alternativamente si può collegare ai dispositivi di posizionamento installati sul veicolo, un computer portatile notebook o palmtop, dotato di software GIS e di database cartografico (Panero, 2000). L'architettura del sistema rimane quella tipica di un AVL, ma le informazioni di posizione vengono visualizzate, oltre che in una centrale operativa, anche sul monitor LCD installato all'interno del veicolo, tramite un'interfaccia GIS il cui database è immagazzinato in un CD-ROM (figura 3.16).

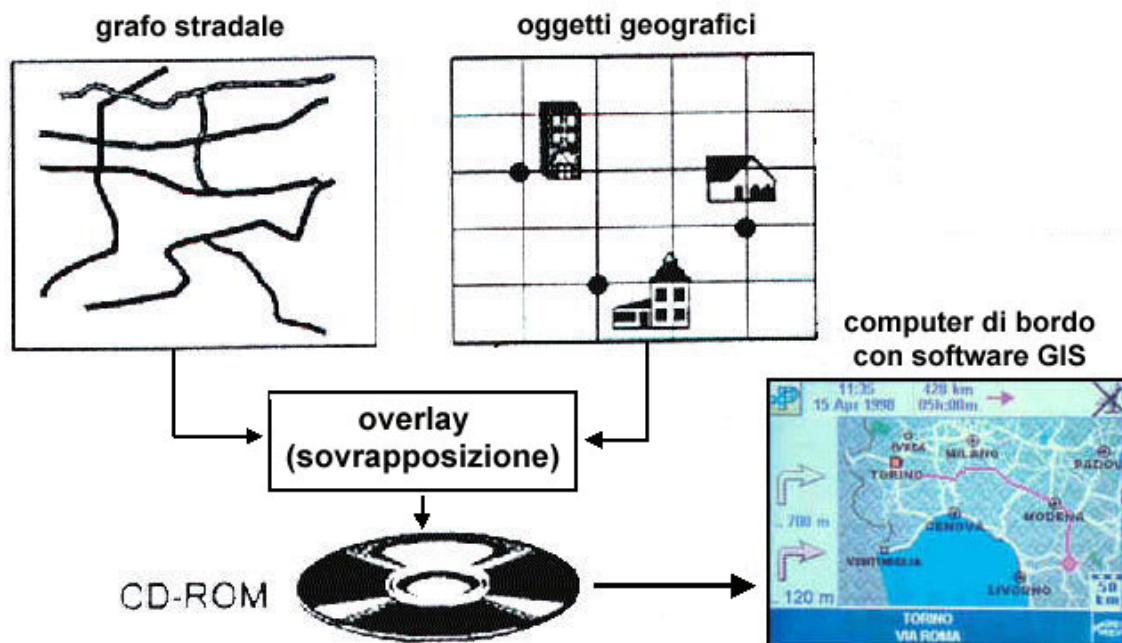



Figura 3.16 - CD-ROM contenente dati geografici letti dal computer di bordo tramite un'interfaccia GIS (topografia della rete stradale ed elementi geografici vari)

Le funzioni principali del sistema sono quelle di localizzazione veicolo, calcolo del percorso ottimale per raggiungere la destinazione prescelta ed indicazioni durante la guida di tre tipi:

- visualizzazione grafica sul display di frecce e indicatori in prossimità degli incroci (figura 3.17) e segnalazione della manovra consigliata per seguire il percorso calcolato;
- emissione di messaggi vocali multilingue ("svolta imminente", "portarsi sulla corsia di sinistra");
- visualizzazione di messaggi di testo da parte della centrale di controllo, inviati via SMS su rete GSM (figura 3.17). Ciò permette al veicolo di ricevere comunicazioni

di servizio (ad esempio notizie relative al traffico ed viabilità) senza dover necessariamente comunicare in fonia con la centrale. Una segnalazione acustica può accompagnare la ricezione dei messaggi di servizio.

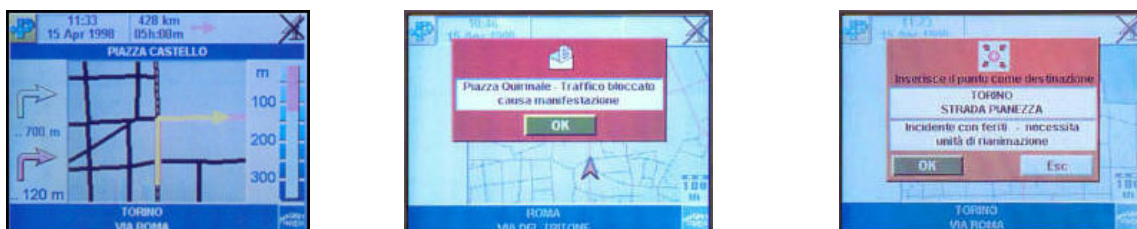



Figura 3.17 - Schermate del GIS per l'ausilio alla navigazione veicolare RoutePlanner® della Divitech; da sinistra a destra: indicazioni della manovra consigliata, ricezione di messaggi SMS riguardo la viabilità e segnalazione di una situazione di emergenza alle pattuglie della Polizia di Torino

Nel caso in cui il guidatore non possa seguire il percorso programmato per problemi stradali imprevisti (ad esempio ingorghi o interruzioni per lavori in corso), o perché volontariamente decide di deviare, il sistema automaticamente calcola un nuovo percorso che collega la destinazione prescelta alla nuova posizione del veicolo.

A questo scopo la cartografia comprende la rete stradale completa delle principali città, la rete extraurbana che consente il collegamento di tutti i comuni ed altri elementi geografici rilevanti quali la rete fluviale e ferroviaria, parchi e giardini, complessi industriali ed edifici significativi (complessi universitari, monumenti). La rete stradale è corredata dalla toponomastica ufficiale, dalla numerazione civica e dalle informazioni relative alla viabilità (sensi unici, divieti di svolta, isole pedonali etc.) per permettere il calcolo di percorsi ottimali nel rispetto delle regole del traffico. Sono inoltre memorizzate numerose categorie di servizi (alberghi, ospedali, uffici postali, cinema, etc.), che rappresentano mete di interesse generale.

La possibilità di comunicazione bidirezionale tra vettura e centro di controllo tramite fonia e messaggi di testo, permette la chiamata di soccorsi in caso di emergenza. Ciò può avvenire in modo automatico, se i sensori di incendio, incidente, furto e sollevamento montati sul mezzo si attivano, oppure da parte del conducente tramite

telefono cellulare. La centrale di controllo provvede poi a mandare i mezzi di soccorso sul luogo.

In Italia esistono due tipi di servizi di navigazione assistita: **Viasat** e **RoutePlanner,** entrambi sono realizzati con la partecipazione della Magneti Marelli per la parte hardware, ma utilizzano motori GIS e basi cartografiche differenti.

Con l'avvento del protocollo di telefonia cellulare WAP (Wireless Application Protocol), che permetterà a terminali remoti di caricare pagine WEB, sarà possibile semplificare notevolmente il sistema di navigazione assistita fin qui descritto. Infatti, come studiato dalla compagnia Webraska, si potrà offrire un servizio di gestione flotte basato sull'interfaccia universale Java e il linguaggio HTML. Gli utenti potranno accedere al server Web tramite autenticazione e la messaggistica bidirezionale sarà trattata mediante i protocolli standard di Internet.
In particolare verranno meno le funzioni:

- del monitor installato a bordo, i cui compiti potranno essere assolti da un normale telefono cellulare dotato display a colori;
- del lettore di CD-ROM contenenti la cartografia, in quanto le mappe digitali saranno presenti sul server Internet. In questo modo l'aggiornamento della cartografia non richiederà onerose riedizioni di CD-ROM da distribuire all'utenza, ma solo operazioni ai server.

Ad esempio, la compagnia telefonica francese CEGETEL, in collaborazione con la Webrasca, società di telecomunicazioni statunitense, ha realizzato nel 1999 un progetto di navigazione assistita dei veicoli tramite WAP (Besson 1999; Naik, 1999).

3.2.2. Flotte di veicoli per il pronto intervento e l'emergenza

L'emergenza si determina a seguito del verificarsi di uno specifico evento disastroso, che può comportare danni a persone e a cose. Ne esistono diversi tipi che richiedono differenti modalità di intervento, ma si possono identificare alcuni elementi comuni, infatti, una volta determinate le risorse da impiegare, i problemi di gestione dell'intervento risultano simili. Esistono alcuni pacchetti GIS specificamente implementati per la gestione delle emergenze, cioè dotati di funzionalità per:

- coordinare l'intervento di diversi mezzi di soccorso;

- rendere tempestivamente disponibili tutte le informazioni necessarie;
- rappresentare in modo chiaro, rapido e preciso tutte le informazioni.

Ad esempio di questo tipo è ***GeoReM***, un pacchetto prodotto dalla Sogesi di Roma, che prevede l'utilizzo di oggetti sviluppati dalla Intergraph e dalla Microsoft (Camirro, 1999). ***GeoReM*** permette di personalizzare l'interfaccia utente in funzione delle specifiche esigenze, delle differenti emergenze (Polizia, Ambulanze, Vigili del Fuoco, Protezione Civile), di visualizzare dati e mappe in formato raster e vettoriale, di personalizzare l'interfaccia tra la Centrale Operativa, che riceve la chiamata e coordina l'azione, e la flotta di intervento. Le informazioni possono essere acquisite anche da data-base esterni e da archivi di Enti locali grazie al motore grafico, che provvede alla omogeneizzazione e georeferenziazione delle informazioni automaticamente. Le funzionalità implementate permettono di ottimizzare i percorsi, di determinare le aree di sgombro di fare previsioni e simulazioni. In questo modo il pacchetto della Sogesi gestisce non solo la fase di intervento, ma anche le fasi di previsione e di prevenzione. L'architettura può essere completata utilizzando un motore Web (Geomedia Web Map) che permette di distribuire dati e mappe, in Internet utilizzando un browser standard.

Anche il Municipio di Winston-Salem, North Carolina, ha realizzato un sistema per rendere più efficiente il servizio di pronto intervento dei Vigili del Fuoco, chiamato I.N.F.O (Integrated Network Fire Operations). Noto l'indirizzo dell'incendio, I.N.F.O. cerca automaticamente tutte le informazioni relative al luogo dell'incidente (vie di accesso, piano dell'appartamento, presenza di luoghi particolarmente pericolosi, numero di occupanti l'appartamento, ecc), genera e mostra sulla mappa il percorso che permette di intervenire tempestivamente. In caso di necessità il percorso può essere generato anche in tempo reale: se durante il tragitto si dovessero incontrare strade chiuse o code il sistema è in grado di ricreare la strada ottima. I.N.F.O. è stato realizzato con il software MapObject ed il modulo NetEngine, della ESRI, che hanno consentito di realizzare un sistema per l'analisi di rete adattabile a tutti i casi di gestione delle emergenze.

In Italia è stato realizzato, grazie alla collaborazione della Sezione Informatica dell'Ispettorato Telecomunicazioni della direzione Generale della Protezione Civile, dei Servizi Antincendio del Ministero dell'Interno e della ITP elettronica, un sistema di

supporto alle decisioni per le emergenze chiamato TERRAPACK, che aggiunge a tutte le funzionalità tipiche dei GIS altri operatori che permettono di simulare ed incorporare qualsiasi algoritmo o modello (Ottavi, 1999).

Se i diversi enti territoriali si accordassero per usufruire di un comune sistema informativo geografico (figura 3.18), un unico database potrebbe fornire dati a Polizia,

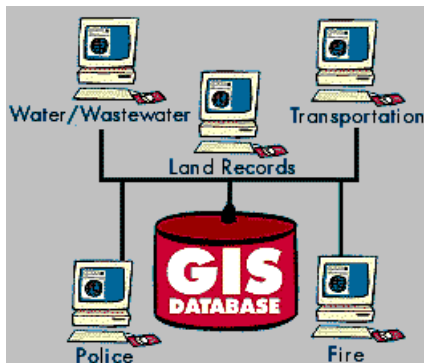



Figura 3.18 - La condivisine della base informativa di un GIS

Carabinieri, Vigili del Fuoco, Enti dei trasporti, ecc. In questo modo gli oneri di costruzione e manutenzione della base informativa potrebbero essere suddivisi ed i dati potrebbero essere utilizzati più volte da parte di più utenti contemporaneamente.

Questi pacchetti GIS prevedono in ogni caso l'uso di un AVL con caratteristiche simili a quelle già descritte, ma con alcune peculiarità per quanto riguarda l'organizzazione della centrale di controllo operativo degli interventi. Infatti per le centrali legate ad un servizio di emergenza a disposizione del cittadino, sono previsti due tipi di postazioni operatore denominate ***Call Taker*** e ***Dispatcher***. La parte *Call Taker* si interfaccia con gli utenti del servizio, in particolare si occupa di:

- accettare le richieste di intervento e compilare le maschere ed i moduli previsti,
- generare e gestire l'archivio delle pratiche relative agli interventi,
- comunicare alla postazione di dispatching i dati necessari per la gestione dell'intervento sul territorio.

La postazione *Dispatcher* si interfaccia con le squadre che conducono i veicoli, fornisce loro assistenza sul campo e ne supervisiona l'operato. I suoi compiti specifici sono:

- gestione della cartografia dell'area geografica di competenza;
- gestione dell'archivio dei mezzi;
- assegnazione del mezzo più idoneo allo svolgimento della missione d'intervento;
- calcolo del percorso ottimo relativo alla missione ed invio al mezzo prescelto;

- monitoraggio dello stato e della posizione dei mezzi in movimento.

Spostandosi nella prospettiva delle pattuglie, se i veicoli sono dotati di sistema di navigazione assistita, possono ricevere dalla centrale una destinazione che viene visualizzata sul display per permettere l'accettazione da parte del personale di bordo e la conferma ad avviare il calcolo del percorso. Nel caso in cui a bordo vi sia già una destinazione attiva, quella ricevuta dalla centrale viene automaticamente interpretata dal sistema come primaria; in ogni caso viene automaticamente rinviato alla centrale un messaggio di notifica dell'avvenuta accettazione o rifiuto. In tutte le applicazioni legate alla gestione di emergenze, la funzione di invio destinazione dalla centrale risulta di importanza fondamentale per garantire un intervento tempestivo del mezzo prescelto sul luogo dell'emergenza, riducendo le possibilità di errori ed incomprensioni inevitabilmente legate alla comunicazione vocale. Inoltre è possibile associare un breve testo all'indirizzo di destinazione che permette alla centrale di comunicare informazioni rilevanti relative alla missione da compiere.

Risulta evidente come un sistema del genere potrebbe rispondere alle sopra menzionate esigenze di interoperabilità tra le Forze di Pubblica Sicurezza, consentendo di visualizzare alla centrale non solo i mezzi della propria flotta, ma anche quelli delle altre istituzioni partecipanti all'operazione.

3.2.3. Campi di applicazione

In letteratura esistono numerosi studi di caso e applicazioni già realizzate in cui vengono monitorate molti tipi di flotte di numerosità variabile; per approfondimenti si rimanda alla bibliografia commentata in appendice. In questa sede ci limitiamo a tracciare una panoramica dei settori applicativi più comuni che traggono vantaggio da un sistema di AVL. Ricordiamo inoltre che per la maggior parte dei casi il software di gestione flotte ed in generale l'attività di localizzazione dei veicoli, è solo una componente del sistema modulare più ampio e tipico di ogni settore applicativo. Ad esempio l'AVL per una ditta di autotrasporti va accoppiato al software di gestione della logistica e delle operazioni di magazzino. Per un servizio di spedizioni l'AVL è la base per calcolare i tempi di consegna e ritiro dei pacchi; si interfaccia con il sistema di prenotazione da parte dei clienti (*call center* o via WWW) e con le periferiche di firma

elettronica per avvenuta ricezione del collo da parte del destinatario. Serve inoltre per controllare gli autisti e per conferire affidabilità al servizio.

In generale l'uso degli AVL si è diffuso nei seguenti campi:

- servizi di Pubblica Sicurezza e di risposta alle Emergenze Pubbliche sul territorio (Ambulanze, Vigili del Fuoco, Polizia, Carabinieri, soccorso marino e terrestre in genere);
- autotrasportatori, veicoli pesanti adibiti al trasporto di merci, monitoraggio di casse frigorifere e container;
- aziende di trasporto pubblico urbano e extraurbano;
- monitoraggio di treni e sistemi informativi all'utenza a bordo e nelle stazioni;
- compagnie di spedizioni;
- flotte di radiotaxi (invio del mezzo più vicino alla chiamata);
- veicoli dei servizi di vigilanza (corpi forestali, metronotte…);
- veicoli portavalori;
- flotte di veicoli di nettezza urbana e lavaggio strade;
- veicoli di privati associati ad un servizio di assistenza al viaggio;
- piccole flotte di veicoli commerciali;
- veicoli militari e navi petroliere;
- monitoraggio dei trasporti speciali e di merci pericolose.

Segnaliamo un'applicazione particolarmente interessante realizzata da KNOSOS nel 1999 per la Regione Autonoma Catalunya: viene monitorata una flotta di elicotteri che ha il compito di rilevare le infrazioni al regolamento di pesca nella fascia costiera. La costa infatti si divide in molte zone con diversi criteri di restrizione della pesca a seconda dei diversi periodi dell'anno e delle quote fissate periodicamente. Quando un elicottero riscontra sul programma di navigazione di bordo che un peschereccio è in zona vietata, scatta una foto che viene immediatamente georeferenziata e datata tramite i dati GPS. Dopodiché scatta la chiamata delle motovedette della guardia costiera e la denuncia dell'infrazione.

In Italia siamo venuti a conoscenza di molte applicazioni realizzate e di svariati software implementati in ambiente GIS per la gestione flotte. In particolare segnaliamo che hanno installato ed usano operativamente un sistema di AVL:

- le cooperative di taxi di Roma e Milano;
- le Centrali Operative dei Carabinieri di Milano, Roma, Torino e Viterbo;
- le Centrali Operative della Polizia di Milano, Torino e Modena;
- ENEL Calabria (localizzazione dei mezzi impegnati per la manutenzione);
- 118 Modena (localizzazione delle autoambulanze);
- Provincia di Treviso (localizzazione dei mezzi adibiti a trasporto urbano ed extraurbano);
- aziende fornitrici di trasporto pubblico di Roma (ATAC), Milano (ATM e AGI), Bologna (ATC).

Nel seguente paragrafo vengono descritte le caratteristiche specifiche dei sistemi AVL per le Aziende di trasporto pubblico ed i vantaggi che ne possono derivare in termini di qualità ed efficienza del servizio, molti dei quali sono riscontrabili mediante l'utilizzo dell'interfaccia GIS da noi implementata per il trasporto su rotaia.

3.3. AVL e Aziende di Trasporto Pubblico

L'opportunità per il centro di controllo del traffico di monitorare in tempo reale la posizione dei veicoli appartenenti alla flotta (camion, autobus, tram, filobus..) su uno schermo dotato di interfaccia e funzionalità GIS, apre un ampio ventaglio di possibilità e di nuovi servizi da fornire da parte delle aziende concessionarie di trasporto pubblico. Innanzitutto l'AVL è in grado di offrire il necessario supporto ai sottosistemi aziendali citati nel capitolo 2 (programmazione del servizio, turni del personale e dei veicoli, automazione e monitoraggio della rete di vendita e monitoraggio statistico dei guasti).

L'uso degli AVL per il trasporto pubblico, introduce alcuni ampliamenti all'architettura base sopra illustrata che è opportuno citare poiché, proprio questi, costituiscono il valore aggiunto in grado di elevare la qualità e l'efficienza del servizio offerto dalle aziende. In particolare si possono individuare due prospettive di completamento dei normali AVL: la distribuzione all'utenza dell'informazione ricevuta in continuo dalla centrale di controllo (si veda la componente 4 di figura 3.1) e l'arricchimento del Sistema informativo di bordo. Nel seguente paragrafo particolare attenzione è dedicata alla descrizione dei sistemi informativi all'utenza, in quanto

costituiscono lo scopo principale dell'interfaccia GIS da noi implementata , distribuibile in maniera diffusa via Internet e Intranet.

Tra i principali servizi innovativi che traggono giovamento dai sistemi di AVL, segnaliamo i cosiddetti servizi flessibili, la gestione delle emergenze in linea e il monitoraggio dei veicoli tramite scatola nera.

3.3.1. Sistemi informativi per l'utenza

Nelle grandi metropoli, la complessità della rete di trasporto pubblico urbano, l'elevato numero di linee e la molteplicità di tipologie di mezzi disponibili, fanno si che l'utente medio si trovi disorientato nella scelta del percorso più conveniente.

Un'interfaccia utente abbastanza user-friendly, da poter essere utilizzata dal cittadino medio, ed un GIS, possono assolvere al compito di indicare il percorso migliore e di quali mezzi servirsi. Basti pensare alla capacità dei software GIS di usare algoritmi di ottimizzazione del percorso in termini di lunghezza, tempo di viaggio e numero di cambi di mezzo. Oppure alle funzioni di indirizzamento (*geocoding*), che permettono all'utente di inserire l'indirizzo desiderato e di visualizzarlo su una mappa ai diversi livelli di zoom necessari. Infine l'utente stesso può generare mappe tematiche che mostrino la posizione di attività commerciali, luoghi di interesse storico-artistico, musei, stazioni, strutture di accoglienza ecc. Tutto ciò è realizzabile con la solita architettura a server centralizzato, contenente i database necessari, ed i clients distribuiti capillarmente sul territorio cittadino, sottoforma di *touch screens* situati nei punti informativi (Rutigliano, 1999). Nelle figure 3.19, 3.20 e 3.21 sono illustrate alcune schermate dell'interfaccia utente del sistema informativo realizzato da ATAC nel 1999, presente in Internet al sito http://infopoint.atac.roma.it.

Fermarsi a questo livello informativo sarebbe però alquanto limitante, se non altro perché prescinde dalle condizioni di traffico e viabilità effettivamente presenti sul territorio. Oggigiorno, se si pensa alle molteplici concause che fanno variare il livello di congestione del traffico, fornire un'indicazione a priori sulla convenienza di un dato percorso, ha ben poco senso rispetto alle possibilità di aggiornamento in tempo reale dell'informazione.

INFOPOINT

Ricerca indirizzo | Calcolo percorso | Linee turistiche | Elenco risorse | Risorse su mappa

Calcolo percorso

Luogo di partenza
(Scegli solo una delle due possibilità)

Da indirizzo
(inserisci il nome omettendo via, corso,...)
Montevideo nº 4

Da risorsa
(inserisci il nome della risorsa)

Luogo di arrivo
(Scegli solo una delle due possibilità)

Ad indirizzo
(nessun indirizzo di arrivo)
--------------- nº ----

A risorsa
(risorsa di arrivo)
COLOSSEO (Monume

data e ora del viaggio — data 03/04/99 ora 13:10

mezzo di trasporto — tutti i mezzi pubblici / escludi metro e ferrovie

percorso da calcolare — il più veloce / con pochi trasbordi / con pochi tratti a piedi

Disegna su mappa il percorso

Figura 3.19 - Maschera di interrogazione sul percorso ottimo tra due punti della città di Roma scelti dall'utente; da notare l'opzione di creare una mappa con il risultato

Figura 3.20 - Percorso ottimo calcolato dal sistema INFOPOINT in base ai vincoli posti dall'utente

In altre parole, l'accesso all'informazione dev'essere reso possibile sia prima del viaggio, per pianificare un itinerario prevedendo l'intermodalità, sia durante il viaggio, per ottimizzare i tempi di percorrenza in funzione delle reali condizioni di traffico.

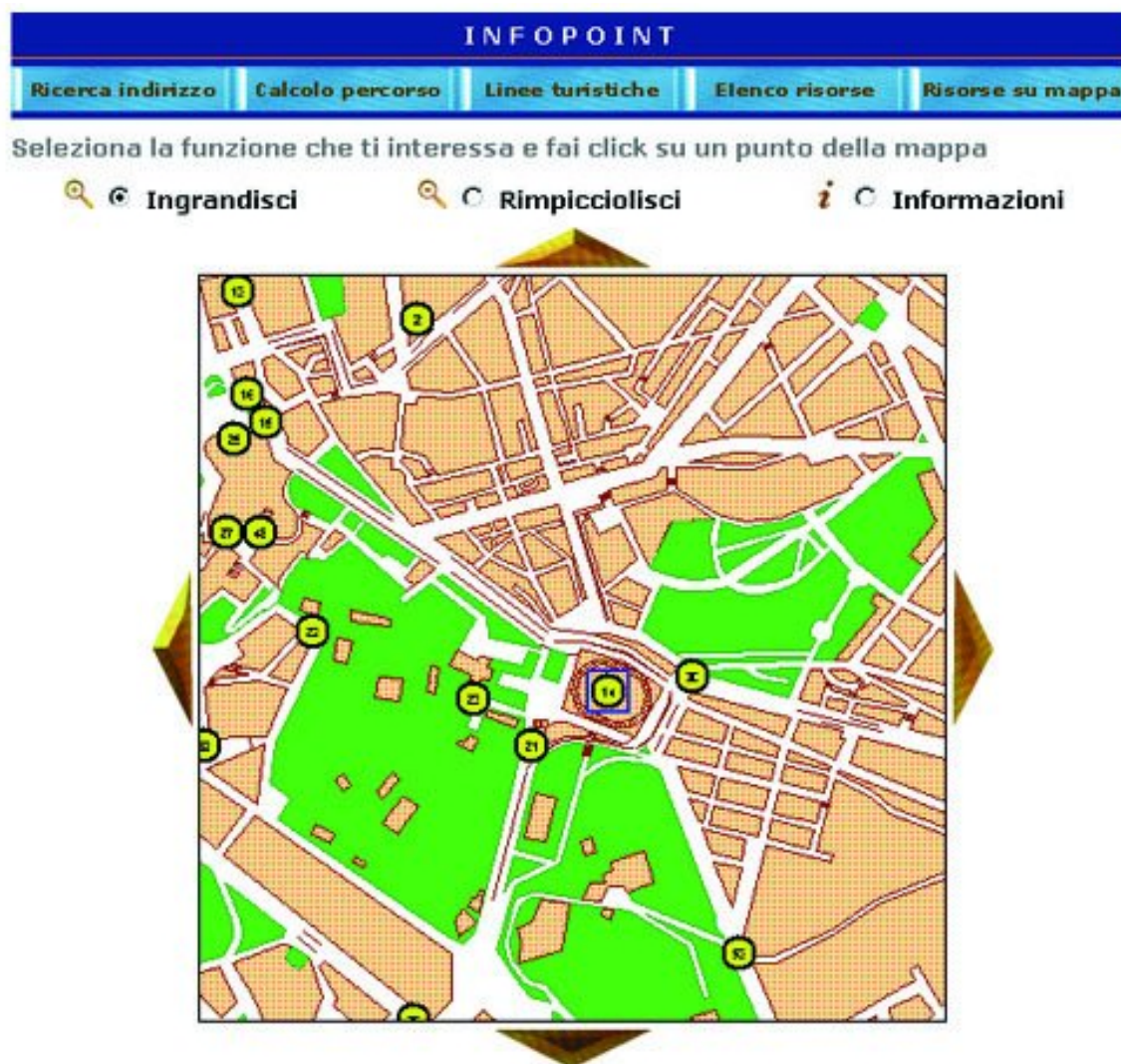



Figura 3.21 - Schermata di visualizzazione dei punti di interesse storico artistico richiesti dell'utente, su mappa digitale della città. Si può selezionare il grado di zoom desiderato

Lavorare in tempo reale implica che al centro di controllo giungano regolarmente informazioni sullo stato del traffico, della rete viaria, delle opere e dei cantieri stradali, della domanda di trasporto e sulla posizione dei mezzi circolanti. Risultano quindi necessari, oltre ad un AVL, i sottosistemi illustrati nel capitolo 2, ad esempio quelli di monitoraggio in linea della rete di vendita e di conteggio dei passeggeri. La centrale di controllo gestisce la raccolta, la verifica e la codifica delle informazioni, quindi le trasmette al GIS, affinché vengano distribuite agli utenti con varie modalità.

La distribuzione delle informazioni all'utenza può avvenire tramite pannelli a messaggio variabile, installati in punti chiave della rete, o tramite terminali remoti quali chioschi informativi, touch screen, telefoni cellulari (tramite SMS) e altre unità periferiche personali, connessi in rete con il centro di controllo. Nelle figura 3.22 e 3.23 sono visibili vari tipi di pannelli a messaggio variabile installati. La comunicazione delle informazioni tra la centrale di controllo e i terminali remoti può avvenire via radio o via cavo telefonico (per i pannelli alle fermate e per gli infopoint), oppure tramite messaggi SMS su rete GSM (Ampélas e Daguerregaray, 1999).

Figura 3.22 - Pannelli a messaggio variabile installati alle fermate degli autobus della compagnia parigina RATP (Regie Autonome des Transports Parisiens) nel 1999. Sono visibili le informazioni riguardo i prossimi bus che si fermano e l'ora di arrivo prevista

Figura 3.23 - Pannelli a messaggio variabile installati alle fermate delle linee urbane di superficie di Helsinki, Finlandia

In questo quadro, la comunicazione via Internet può assumere una rilevante importanza, in quanto è in grado di distribuire capillarmente l'informazione a tutte le periferiche collegabili alla rete, comprese quelle portatili. In questo modo il servizio

fornito permetterebbe all'utente poco esperto o pratico della città di giungere a destinazione senza problemi; il passeggero abituale può invece adattare le proprie decisioni ai tempi di attesa previsti ed alle condizioni del traffico, anche senza recarsi alla fermata, avendo la possibilità di ricevere tali informazioni direttamente sul suo telefono cellulare o su un computer notebook o palmtop dotato di modem. Da prendere in considerazione è ancora una volta sono le nuove possibilità che verranno introdotte dallo standard di telefonia mobile WAP: l'uso di messaggi SMS potrà essere sostituito dall'accesso diretto al servizio via Internet, tramite caricamento di una pagina Web con un tempo di attesa al di sotto dei 10 secondi. A tal proposito segnaliamo il progetto di cooperazione "Arena 2000" (http://www.arenanet.fi/english/index.html) stipulato nel 1999 tra la città di Helsinki e la le compagnie telefoniche svedesi NOKIA e HPY.

3.3.2. Gestione in linea di guasti ed emergenze

La gestione dei guasti che si presentano durante il funzionamento dei mezzi, normalmente, viene realizzata mediante l'attivazione di procedure formalizzate, ma basate totalmente su processi manuali (telefono, registri cartacei, consultazione di cartografia cartacea ecc.). La comunicazione del guasto da parte dell'autista alla centrale di controllo o alle officine mobili avviene via radio o telefono cellulare. Questo procedimento comporta descrizioni vocali della posizione del mezzo affetto dal guasto e, se per qualche motivo, il conducente si trova impossibilitato ad effettuare le chiamate, i tempi di intervento risultano molto lunghi. Ammettiamo invece che al centro di controllo si conosca l'esatta posizione del mezzo guasto, grazie ad un sistema di AVL e che si disponga di un'interfaccia GIS. La possibilità di gestire il processo di intervento con l'ausilio di un supporto informatico e di cartografia digitale velocemente consultabile, permette di aumentare l'efficienza globale del servizio. Infatti, una volta comunicato alla centrale di controllo che un mezzo ha subito un guasto od un incidente, le informazioni per risolvere la situazione sono gestite mediante un processo di *workflow:* vengono cioè attivate in serie delle finestre, dette maschere, che, interfacciando il Database Cartografico presente sul server, aiutano l'operatore nel prendere le decisioni del caso. Una tipica maschera di interfaccia con l'operatore è riportata in figura 3.24. Tra le decisioni possibili, vi sono l'individuazione del mezzo di

soccorso più adatto da inviare (tipo e deposito o posizione di partenza), l'opportunità di far uscire un mezzo sostitutivo, di sospendere il servizio, di chiamare mezzi di soccorso pubblici. In questo modo è possibile ottimizzare gli spostamenti dei veicoli di assistenza e valutare le priorità in caso di richieste di intervento concomitanti. La visione geografica permette di valutare il probabile impatto di un mezzo guasto sul resto della rete di trasporto nel quadro globale dell'evento, e quindi di agire in maniera da minimizzare i disagi sull'utenza.

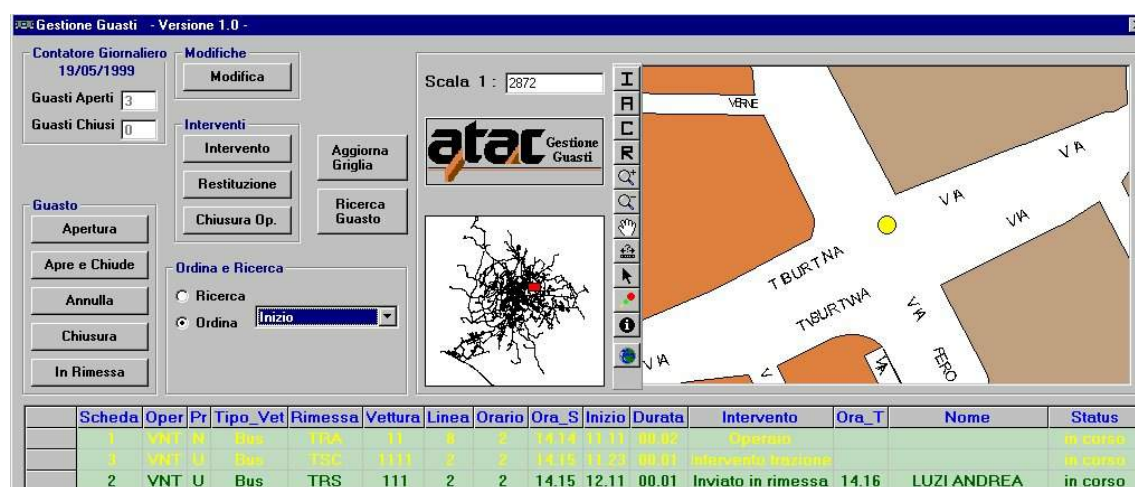



Figura 3.24 - Maschera di interfaccia con l'operatore del sottosistema di gestione guasti in linea realizzato da ATAC, Roma

3.3.3. Monitoraggio dei veicoli tramite scatola nera

La scatola nera, più comunemente chiamata Black box, è un dispositivo montato a bordo dei veicoli che integra le funzioni di un cronotachigrafo con quelle di monitoraggio dello stato meccanico dei mezzi; permette quindi di registrare durante il percorso eventuali anomalie di funzionamento del mezzo.

La scatola nera interagisce strettamente con i dispositivi per la localizzazione degli automezzi e le altre componenti del sistema informativo di bordo, registrandone tutte le operazioni. In particolare immagazzina le informazioni riguardanti:

- posizione e velocità del mezzo;
- data ed ora della rilevazione;
- codice identificativo del veicolo aziendale;

- numero di matricola dell'autista;
- stato meccanico del mezzo, valutato da appositi sensori, secondo opportuni parametri;
- stato di carico del veicolo valutato da un sistema contapasseggeri e dalle periferiche obliteratrici;
- stato di apertura delle porte.

Tali dati vengono quindi inviati, tramite la rete di comunicazioni, alla centrale di controllo, visualizzati sulle opportune cartografie ed importati nei database del GIS. Le modalità con cui si può entrare in possesso dei dati della scatola nera sono di due tipi:

- **Modalità in linea.** Il capo movimento al centro di controllo, può, per esigenze di servizio, visualizzare in tempo reale la posizione di un veicolo e le informazioni necessarie, digitando all'interno di una maschera di data-entry il codice aziendale del mezzo o dell'autista.
- **Modalità di post-processing**. Nella memoria della scatola nera vengono immagazzinate in modo automatico e ad istanti temporali o posizioni prefissate, le coordinate del mezzo e le altre informazioni associate. Questi dati vengono poi trasmessi alla centrale di controllo tutte le notti attraverso una rete aziendale. In questo modo è possibile visualizzare le posizioni più significative di un veicolo ed il relativo stato di salute all'interno di un turno macchina. Gli istanti e le località in cui deve essere memorizzata la posizione dell'autobus vengono programmati prima di iniziare il turno.

Come detto sopra è possibile installare periferiche contapasseggeri che registrino gli output all'interno della scatola nera. I dati relativi ai flussi di passeggeri, integrati con quelli di localizzazione delle fermate all'interno di un turno macchina, permettono la creazione di matrici origine-destinazione delle aree servite, indispensabili per una corretta pianificazione dei servizi offerti all'utenza. Infatti, la conoscenza ed il controllo del flusso di utenza che si serve dei servizi giornalmente, permetterebbero di apportare i correttivi necessari ai programmi di esercizio secondo le reali necessità.

Da segnalare infine che i dati delle scatole nere e delle relative periferiche, possono essere memorizzate su dispositivi, quali chip card dell'autista, al termine del suo turno di lavoro e successivamente scaricate sul PC sito nel deposito aziendale di pertinenza.

Tali registrazioni vengono poi trasmesse al server centrale ed analizzate con apposito software.

Sono in fase di studio alcuni sistemi di richiesta di priorità semaforica alle intersezioni dotate di semafori intelligenti, l'ATM di Milano si è già mossa in questo senso. La Compagnia dei trasporti pubblici di Helsinki nell'ambito del progetto ENTIRE, finanziato dalla Commissione Europea VII THERMIE, ha realizzato nel 1996 un sistema di richiesta di priorità semaforica per gli autobus pubblici urbani. I semafori sono gestiti da un software che, una volta ricevuta via radio l'informazione di imminente arrivo del mezzo pubblico, dirige i flussi, favorendone il passaggio ed incrementandone notevolmente la velocità commerciale (figure 3.25 e 3.26).

Figura 3.25 - Richiesta di priorità semaforica da parte di un autobus ad un marker a radioonde situato lungo il percorso di linea, Helsinki

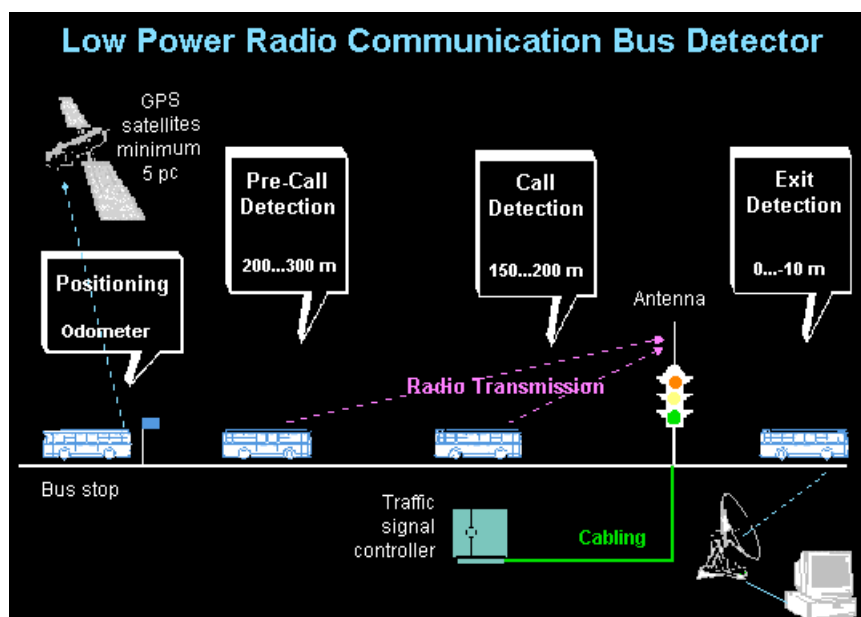



Figura 3.26 - Schema della modalità di comunicazione dell'imminente passaggio di un autobus al software di gestione dei flussi semaforici di Helsinki, Finlandia

Infine, per riassumere, presentiamo in figura 3.27 un quadro completo di tutti le periferiche ed i moduli che si possono integrare con un sistema informativo di bordo.

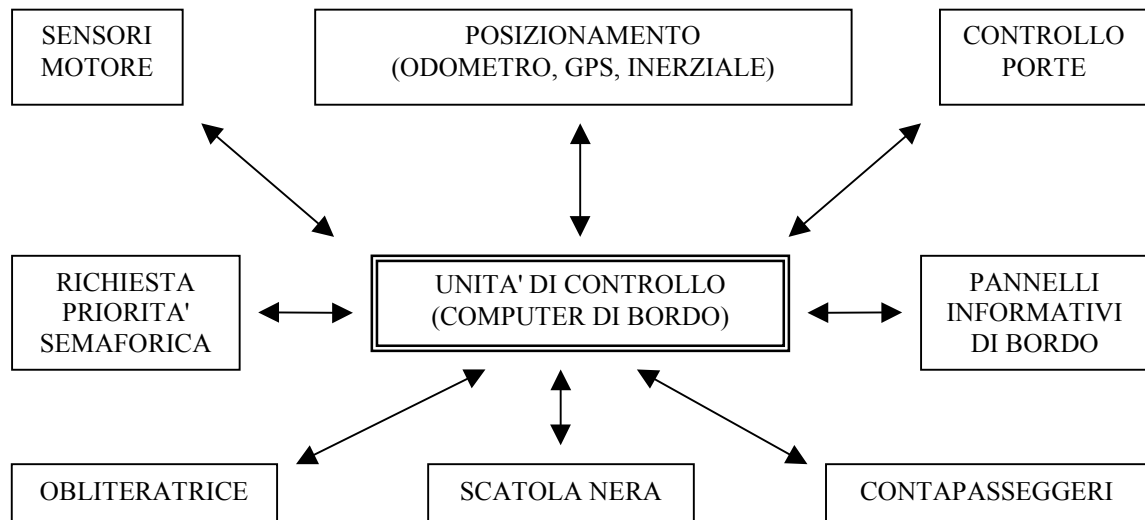



Figura 3.27 - Componenti del Sistema Informativo di Bordo

3.3.4. Servizi flessibili: Dial and Ride, trasporto su prenotazione

L'utente del servizio dichiara telefonicamente le sue esigenze di spostamento, che confluiscono nell'archivio di base per la pianificazione; l'operatore della centrale di controllo formula la proposta di spostamento, in base alla situazione contestuale del servizio; una volta accettata, la proposta diviene operativa. Il software che sta alla base della pianificazione fornisce una tabella di marcia per ciascun veicolo coinvolto, utilizzando il database degli utenti e il grafo delle rete stradale del Comune.

Le principali categorie di utenza che usufruirebbero di servizi di trasporto su prenotazione sono quelle degli anziani e dei portatori di handicap, ma esistono anche svariate applicazioni di trasporto collettivo su domanda, sia per i servizi esterni (servizio notturno, servizio scolastico), sia per quelli interni all'azienda (servizio riservato al personale, mobilità dei dipendenti). In proposito si vedano Arnstroem e Nesterlund (1999); Brich e altri (1998); Faggioni e Valdo (1999).

Si può anche prevedere di gestire i servizi di trasporto a chiamata in modo generalizzato riconoscendo gli utenti attraverso qualche sistema di identificazione, per esempio tramite smart-card dotate di chip.

Come si vedrà nel capitolo 6, l'interfaccia GIS da noi realizzata, parte integrante di un sistema AVL proposto per le FNM, oltre che costituire la base per la diffusione dell'informazione all'utenza è in grado di espletare i servizi sopra elencati di monitoraggio dei veicoli in tempo reale e di controllo tramite scatola nera.

3.4. Moduli software per la gestione delle reti e dei trasporti

Attualmente esistono specifiche estensioni ai GIS commerciali che aggiungono particolari funzionalità per la gestione delle reti, delle flotte e dei trasporti in generale. Tra questi, i prodotti della ESRI si sono particolarmente imposti sul mercato, essendo ArcView il GIS più diffuso tra le pubbliche amministrazioni. Di seguito viene presentata una rassegna sulle funzionalità apportate.

ArcView Network Analyst è un'estensione di ArcView che consente di risolvere problemi connessi alle reti (strade, autostrade, fiumi, linee elettriche, ecc). Nel caso di una rete stradale questo modulo permette di trovare il percorso più efficiente, di generare le direzioni di viaggio per giungere dal luogo di partenza a destinazione, di trovare l'area di servizio più vicina alla posizione corrente, ecc. Riassumendo le principali funzionalità di questo modulo sono:

- trovare il percorso più diretto fra due punti;
- trovare il percorso ottimo fra più punti;
- trovare elementi a distanza minima, ad esempio trovare l'hotel più vicino alla fermata dell'autobus;
- analizzare il territorio in funzione del tempo di percorso: ad esempio quali sono le zone distanti 3 minuti dalla stazione di servizio.

Questo modulo aggiunge alle usuali funzionalità GIS nuovi modelli per analizzare i dati, ampliando le possibilità di applicazione dei sistemi informativi al campo di gestione delle reti.

ArcLogistic Route é un estensione di ArcView che permette di gestire una flotta di veicoli e di risolvere complessi problemi di percorso ottimo e di aderenza all'orario. Ad esempio consente di gestire una flotta di mezzi detti "a chiamata", oppure una flotta di veicoli per la consegna di merci, oppure bus scolastici, ecc. Il modulo include funzioni

di allocazione ottima, ad esempio è in grado distribuire le diverse tipologie di veicoli di una flotta per il ritiro e la consegna di merci. Tale software è capace di trovare l'indirizzo del cliente sulla mappa (geocoding), di determinare il percorso ottimo e la migliore sequenza di fermate da effettuare. Il percorso viene generato tenendo conto della rete stradale, del tempo di percorrenza di ogni arco, del tipo di veicolo e del tipo di consegna. Lo scopo è quello di rendere più efficiente la flotta, riducendo il numero di veicoli che la compongono, di minimizzare i costi generando percorsi ottimi, di garantire i servizi in tempi brevi e di fornire migliori condizioni di lavoro agli addetti . Il pacchetto ArcLogistic Route comprende, oltre al motore software e alla relativa guida in linea, anche un database delle strade statunitensi, U.S. Street Database. La rete stradale europea non è ancora disponibile. Gli utenti possono generare mappe tematiche riportanti: il percorso ottimo, le fermate, la posizione di tutti i veicoli in viaggio, indicazioni in tempo reale sul tragitto, intese come direzioni da seguire, ecc. ArcLogistic Route è stato pensato come strumento in grado di risolvere problemi di allocazione di risorse attraverso una rete.

ArcView Tracking Analyst, prodotto da ESRI e TASC per ArcView, consente di ricevere, analizzare, immagazzinare e visualizzare dati in tempo reale. La principale fonte di informazioni spaziali in tempo reale è il sistema di posizionamento satellitare GPS. Per questo motivo il pacchetto è dotato di software di configurazione dei ricevitori GPS commerciali più comuni e di visualizzazione della costellazione dei satelliti e degli indici di geometria (DOP). Il Tracking Analyst, aggiunge, alle capacità di analisi dei dati in post processamento, la possibilità di analizzare le informazioni in tempo reale, fornendo così nuove campi di applicazione. Questo sistema permette di visualizzare elementi dinamici come bufere di neve, veicoli per le emergenze, animali in movimento, navi, aerei, treni, veicoli militari, ecc.

Net Engine è un pacchetto, prodotto dalla ESRI, che comprende una libreria di algoritmi per l'analisi di rete. Utilizzato all'interno di un ambiente di sviluppo fornisce la possibilità di definire, immagazzinare ed analizzare dati di una rete rappresentativa di elementi naturali o artificiali, fisici o logici. Mettendo a disposizione un modulo specializzato per la memorizzazione dei dati, Net Engine consente di gestire e

manipolare anche reti estese e complesse, come l'intera grafo stradale e autostradale di uno Stato.

Tale prodotto fornice algoritmi per determinare il percorso più breve tra due punti, per identificare i servizi più prossimi o facilmente raggiungibili, per risolvere problemi di allocazione, ma gli utenti possono anche sviluppare algoritmi più complessi per risolvere problemi specifici.

Le librerie di Net Engine possono essere integrate con quelle di MapObject e con gli oggetti programmabili che quest'ultimo fornisce. Il motore GIS di MapObject, consente di aggiungere alle capacità di Net Engine di visualizzare mappe, reti e percorsi, potenti strumenti di geocoding e di gestione delle informazioni in tempo reale. Questa unione permette di monitorare veicoli in viaggio, di controllare la loro aderenza all'orario, di fornire indicazioni sul miglior percorso, di pianificare i viaggi, ecc.

E' attualmente in programma la versione Net Engine 1.2 che includerà nuovi algoritmi, opzioni ed esempi per rendere più flessibile e comprensibile la programmazione e lo sviluppo. Mentre la versione 1.1 funziona con il sistema UNIX, la versione successiva funzionerà in ambiente Winwows.

3.5. Conclusioni

A chiusura di questo capitolo sui sistemi AVL possiamo concludere quanto segue in riguardo all'attuale e futura valorizzazione di tali sistemi: l'uso della tecnologia AVL è in continua diffusione tra le aziende fornitrici di servizi di trasporto pubblico, che traggono immenso giovamento, anche a livello di immagine, nel fornire informazioni precise all'utenza. Le grosse ditte di autotrasportatori e di spedizionieri stanno iniziando a rendersi conto dei vantaggi economici che possono trarre controllando la propria flotta di veicoli: ottimizzazione del trasporto merci (allocazione, distribuzione e stoccaggio) razionalizzazione degli spostamenti, della logistica e della gestione dei magazzini e delle operazioni di scambio intermodale. Tuttavia in Italia si riscontra una mancanza di standardizzazione dei dati digitalizzati e di coordinamento tra i vari enti territoriali preposti ai servizi pubblici che fanno uso di sistemi di gestione flotte. Queste disfunzioni vanno essere ovviate al fine di trarre pieno giovamento dai sistemi AVL.

Sul versante della tecnologia GIS, rimane da sottolineare che gli sforzi compiuti sinora per introdurre la dinamica, sono stati volti solamente alla rappresentazione di oggetti mobili, mentre si è sviluppata meno la capacità di cambiare gli attributi di oggetti fissi. Vi sono infatti pochi pacchetti GIS, tra i quali Intergraph MGE, che permettono di variare le caratteristiche di un record in tempo reale, come il volume di traffico associato ad una strada, i capolinea di un autobus in condizioni di elevato traffico, il percorso ottimale di un mezzo pubblico dipendente dall'orario di partenza e lo stato di occupazione di caselli stradali. Inoltre la tecnica finora seguita, di immagazzinare gli attributi alternativi in diversi campi dello stesso record, comporta un inutile spreco di memoria nell'allocare celle ogni volta che si presenta un cambiamento. In questo senso vanno apportati dei miglioramenti ai software esistenti al fine di poter trattare il *time stamping,* ovvero gli attributi che cambiano valore nel tempo (Lakshmanan e Spear, 1997).

Per completezza ricordiamo che la diffusione dei software GIS apre le porte ad un vasto ventaglio di applicazioni che rientrano nel campo dei sistemi di trasporto intelligente (ITS). Tra queste segnaliamo la gestione del traffico e della viabilità, componenti importanti da prendere in considerazione nella trattazione dei sistemi di trasporto, sia nella fase di gestione in tempo reale, sia in quella di pianificazione. In genere gli ITS si occupano più della prima, ma una buona base pianificatoria, supportata da simulazioni e modelli di interazione con il territorio, facilita il compito nella gestione e nella razionalizzazione dei flussi veicolari; per questo motivo verrà ripreso l'uso statico del GIS per le attività di pianificazione del traffico.

Gestione in tempo reale del traffico

L'elemento caratterizzante dei moderni sistemi GIS è la capacità di ricevere dati in tempo reale provenienti dalle più svariate fonti e di aggiornarli direttamente sullo schermo e nel database corrispondente, senza dover effettuare un refresh completo della cartografia di base. Nel campo della gestione del traffico, le fonti sono costituite da sensori posizionati in punti strategici, lungo il reticolo stradale, e da videocamere che trasmettono in tempo reale, magari sfruttando la rete Internet. In questo modo l'operatore che si trova in una centrale di controllo, ad esempio di un ramo autostradale, può percepire le condizioni del traffico veicolare e visualizzarle graficamente mediante

l'uso di icone, simboli e polilinee. Attraverso la selezione di un elemento, come avviene per il catasto stradale, è possibile visualizzare, ad esempio, le informazioni riguardanti il livello di congestione dei raccordi autostradali e dei caselli, ma anche lo stato della segnaletica fissa, mobile o cangiante. L'operatore può quindi prendere decisioni riguardanti l'apertura o chiusura di corsie, i tempi dei cicli semaforici, i messaggi da inviare agli utenti sui pannelli luminosi, gli avvisi di pericolo, l'eventuale deviazione di flussi di traffico straordinari, o semplicemente comunicare lo stato dei parcheggi di interscambio auto privata – mezzo pubblico (*park and ride*).

Un esempio di maschera di Access per l'interrogazione di un database sulla viabilità, integrata con visualizzazione cartografica tramite lo strumento di sviluppo MapObject è riportata in figura 3.28.

Le funzioni GIS consentono di effettuare rapide operazioni di zoom e di panning delle mappe a larga scala, fino ad arrivare a livelli di dettaglio molto alti (piante delle infrastrutture stradali in scala 1:1000). Ciò permette di individuare l'esatta posizione di eventi specifici, ad esempio di incidenti stradali, nel momento in cui essi vengono rilevati dalle autorità competenti e referenziati con il sistema delle chilometriche progressive. Un metodo tecnologicamente avanzato di rilevare gli incidenti è quello di scattare foto o filmare l'area interessata da un elicottero dotato di ricevitore GPS: in questo modo la georeferenziazione di qualunque evento risulta immediata e può essere immessa direttamente nel GIS. Questo metodo può essere utilizzato anche per monitorare il livello di congestione del traffico.

La trasmissione alla centrale di controllo, dei dati rilevati dai sensori remoti posti lungo le strade, può avvenire in continuo (con reti di comunicazione dedicate) o a prefissati intervalli di tempo, tramite le reti di telefonia mobile. Generalmente, almeno per le zone urbanizzate, si preferisce una comunicazione continua, oggigiorno facilitata dall'avvento dei canali radio digitali.

A livello europeo ricordiamo il sistema informativo stradale realizzato dal Centro Ricerche per i Trasporti della Dutch Traffic Authority, che opera in tempo reale su tutta la rete autostradale olandese, realizzato dalla TENET SYSTEM, West Sussex, 1998.

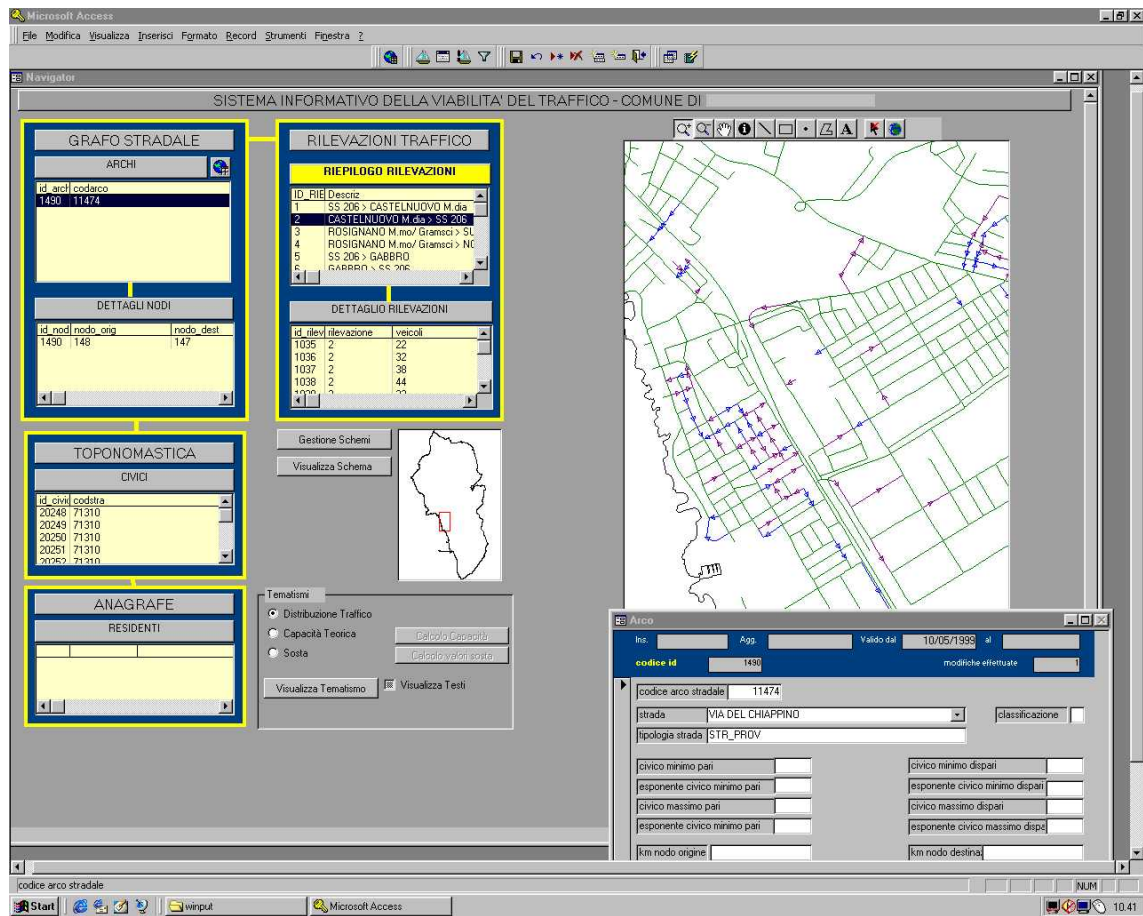



Figura 3.28 – Schermata del Sistema Informativo per il Traffico e la Viabilità realizzato dalla provincia di Reggio Emilia nel 1999; in basso a destra si noti la finestra riassuntiva delle proprietà dell'arco selezionato, comprensive dello stato attuativo delle opere di manutenzione

Monitoraggio degli incidenti stradali

Un approccio globale verso l'analisi delle cause degli incidenti stradali può aiutare nella valutazione quantitativa degli effetti di specifiche politiche di traffico e quindi nel miglioramento della sicurezza stradale. Per approccio globale si intende una serie di provvedimenti non isolati, supportati da indagini statistiche concernenti le relazioni causali tra le condizioni e le caratteristiche della rete stradale, lo stato manutentivo degli autoveicoli ed il comportamento degli automobilisti. Un GIS per il monitoraggio della mobilità, fornito delle banche dati necessarie, è perfettamente in grado di supportare le analisi di correlazione tra i dati riguardanti gli incidenti stradali: natura, luogo, ora,

vittime, frequenza, periodo dell'anno, condizioni metereologiche etc. Il suo compito è quello di georeferenziare gli accadimenti su un set di inquadramento cartografico e di associargli gli attributi sopra menzionati. Con l'uso della segmentazione dinamica, per individuare un incidente, occorre solamente conoscere il chilometro progressivo ed il codice associato alla strada in cui è avvenuto. Se si pensa che i cippi chilometrici sono fisicamente presenti sulle strade, è immediato inserire i dati provenienti dai rapporti della polizia stradale. In realtà i problemi sorgono, dato che raramente i grafi stradali su layer vettoriali sono così completi da contenere tutte le strade, anche quelle secondarie o di campagna. Georeferenziare un evento, se accade su una strada senza nome, senza numerazione civica o senza pietre miliari, costituisce un problema anche con la segmentazione dinamica. Perciò, a monte dell'analisi statistica, è importante possedere informazioni accurate, eventualmente procurandosele con apposite campagne di rilevamento. In questo senso, le mappe commerciali vanno integrate don i dati reperibili dalle amministrazioni interessate. Questo tipo di monitoraggio è stato effettuato con esiti positivi in Belgio dalla Sezione Mobilità del Dipartimento dell'Ambiente e delle Infrastrutture del Ministero della Comunità Fiamminga, al fine di formulare .un nuova politica di sicurezza stradale (Verstraeten, 1995).

Integrazione di pianificazione e simulazione del traffico

Per avere un quadro completo delle potenzialità che un GIS può fornire, è opportuno considerare anche le soluzioni che offre per la pianificazione e la modellizzazione del traffico e della viabilità. Le banche dati che riguardano il territorio, le risorse urbane e extraurbane, così come i censimenti informatizzati e i catasti stradali illustrate nel capitolo 2, possono essere utilizzate anche all'interno di modelli previsionali e di simulazione del traffico e del suo impatto sull'ambiente. Lo studio dei problemi relativi all'ingegneria del traffico e dell'ambiente urbano o extraurbano, avviene attraverso la simulazione ed il confronto tra diverse alternative e scenari. I GIS possono costituire lo strumento informativo in grado di integrare le conoscenze acquisite dai settori della modellistica e della simulazione del traffico, con le possibilità di gestione organica delle informazioni offerte dai moderni database relazionali. In primo luogo perché raccolgono in una visualizzazione sintetica tutti i parametri topografici descrittivi dell'assetto territoriale e della disposizione topologica della rete stradale. In secondo luogo perché

sono in grado di fornire all'utente un'interfaccia grafica intuitiva, in cui le interrogazioni, le selezioni ed i risultati di simulazioni e previsioni siano semplicemente accessibili e prescindano dagli ambienti software in cui vengono eseguite.

Si può teoricamente arrivare alla realizzazione di un sistema di supporto alle decisioni integrato, che comprenda, oltre al database territoriale ed alle matrici origine destinazione, anche:

- Un database per il traffico, contenente le informazioni di tipo alfanumerico inerenti alla circolazione e alla viabilità: flussi, velocità, curve di deflusso, disposizione della segnaletica e dei semafori, manovre consentite etc. In particolare i parametri che caratterizzano la viabilità possono essere suddivisi in: *funzioni di prestazione*, costituite dalle grandezze associabili ad un arco per descriverne le caratteristiche funzionali ed il livello di servizio all'interno della rete di trasporto, e *funzioni puntuali*, comprendenti le informazioni associate ad un nodo, quali manovre consentite, sincronizzazione degli impianti semaforici, presenza di parcheggi e segnaletica verticale ed orizzontale presente.
- Una biblioteca di modelli del traffico e programmi di calcolo con cui analizzare i vari aspetti della circolazione e del suo impatto sull'ambiente: organizzazione del traffico, consumi, emissione e diffusione di sostanze inquinanti, generazione e distribuzione del rumore, ecc.

Il GIS costituisce l'interfaccia per il collegamento, il coordinamento e lo scambio di dati tra i modelli, tra questi ultimi ed i database e tra il sistema complessivo ed il mondo esterno. Ha il compito di gestire i livelli appropriati di cartografia e la rappresentazione grafica sia dei dati in input ai modelli, sia dei risultati delle elaborazioni (output).

La banca dati deve quindi consentire di volta in volta il salvataggio degli output, e contenere le informazioni necessarie a ricostruire, riconoscere e formattare gli elementi che formano gli input dei codici della banca modelli, senza alterare i dati di base già presenti in archivio. Per questo motivo l'intero sistema deve avere una struttura dinamica con i requisiti di: *accessibilità, modificabilità, generalità, completezza e ripetibilità*.

L'interfaccia deve prelevare i dati da mandare in input ai diversi modelli, per fornirli nel codice e nel formato necessario al corretto funzionamento di questi. L'utente

interagisce nella misura in cui inserisce le informazioni non contenute nel database e seleziona quali dati in input al modello utilizzare, tra quelli facoltativi. Ad esempio può indicare la porzione di territorio da considerare, selezionandola graficamente o delimitandola con coordinate, il tipo di approfondimento dell'analisi da condurre, i tempi di simulazione e quali scenari meteorologici utilizzare. Anche gli output hanno un simbolismo ed una struttura variabile a seconda del tipo di modello; spesso sono costituiti da lunghe tabelle alfanumeriche, abbastanza incomprensibili per i non addetti ai lavori. Quindi l'interfaccia assume anche il compito di tradurre i dati in uscita, in rappresentazioni grafiche sul territorio, consentendo una valutazione dei risultati di simulazione che prescinde dal formato adottato dallo specifico modello. Ad esempio, se si utilizza un modello per la diffusione degli inquinanti atmosferici in ambiente urbano, il GIS consente di creare una mappa tematica in cui vengono evidenziate con diverse gradazioni cromatiche le zone in cui la concentrazione degli NO_x al suolo è contenuta in un certo intervallo di valori. In questo modo si possono confrontare anche i diversi scenari possibili, sia generando graficamente tematismi con curve isoconcentrazione e isofoniche, sia mediante la valutazione dei relativi indicatori con istogrammi posizionati sulle aree interessate. Dal punto di vista energetico è interessante valutare i consumi a seconda del regime di traffico che si viene ad instaurare in una determinata categoria di strada.

Un sistema con queste caratteristiche sarebbe in grado di supportare perfettamente l'attività di gestione del traffico e della viabilità e delle problematiche relative in fase pianificatoria, ma, per essere realizzato, occorrerebbe un'attività di coordinamento e standardizzazione dei dati che non ha precedenti in Europa. Infatti, a causa della molteplicità di enti territoriali, universitari e di ricerca che generano software per la modellizzazione, i formati dei dati in input/output variano in modo considerevole. Tuttavia a livello teorico è interessante descriverlo, per conoscere a fondo le potenzialità offerte dai GIS. In Italia in tal senso sono stati effettuati alcuni studi ambiziosi, come il programma SAMURAI (Sistema per il Supporto della Pianificazione della Mobilità Urbana ed al Risanamento Ambientale Integrato) per la realizzazione di banche sul territorio e le risorse urbane, sviluppato dal Dipartimento Ambiente dell'ENEA. Questo patrimonio di informazioni non solo è destinato a fini censuari o catastali, ma è

utilizzato anche all'interno di modelli previsionali. dell'ENEA (Lombardi, 1998). Anche le società di Ingegneria si stanno muovendo in tal senso; sono sempre più i software che vengono realizzati per l'integrazione della simulazione, pianificazione, gestione e programmazione del traffico, tra questi segnaliamo OpenVector della Insiel di Trieste per la sua completezza nell'integrare tutti i sottosistemi individuabili nel più generale sistema dei trasporti (in figura 3.29 è riportata l'architettura del sistema).

SOTTOSISTEMA GESTIONE

MODULI SPECIALISTICI

UFFICIO TRAFFICO COMUNALE

DIP. TRASPORTI PROVINCIALE/REG.

Indtraf

Circolazione

Indbus
Esercizio
Orario

AZIENDA DI TRASPORTO

MODULI DI BASE

sistema GIS
Digita
Scenario
Strade
Archivi
Grafo

SOTTOSISTEMA PIANIFICAZIONE

Viper/TP+
India
Stimat
Lima light

Sistema GIS:	sistema cartografico
DIGITA:	modulo base di ambiente
STRADE:	sistema per la gestione delle tratte stradali
ARCHIVI:	sistema per la definizione/visualizzazione di archivi
SCENARIO:	sistema per la gestione dei dati sull'assetto territoriale e sulla mobilità
GRAFO:	sistema per la creazione del grafo per i moduli di pianificazione
INDTRAF:	sistema per la gestione dei conteggi di traffico
CIRCOLAZIONE:	sistema per la gestione delle norme circolatorie
INDBUS:	sistema per la gestione delle indagini sulla utenza
ESERCIZIO:	sistema per la gestione dei dati sui servizi
ORARIO:	sistema per la costruzione/gestione dell'orario tabellare e grafico
VIPER/TP+:	sistema integrato di procedure e modelli per l'analisi della domanda, la simulazione del traffico e dell'utenza di trasporto pubblico
INDIA:	sistema per la quantificazione e la visualizzazione dell'efficacia/efficienza di una rete di trasporto
STIMAT:	sistema per l'aggiornamento della matrice Origine-Destinazione
LIMA light:	sistema integrato di modelli e procedure per la valutazione dell'inquinamento atmosferico e del rumore prodotto dal traffico.

Figura 3.29 – Architettura di Open VECTOR, Sistema Grafico Informativo per la Pianificazione e la Gestione della mobilità, delle strutture e dei servizi di trasporto

4

ANALISI COMPARATA DI CINQUE APPLICAZIONI DELLE TECNOLOGIE GPS E GIS IN CAMPO FERROVIARIO

In questo capitolo si passano in rassegna le più significative applicazioni delle tecnologie GPS e GIS in campo ferroviario, mettendo a confronto, attraverso alcuni indicatori, 5 differenti realtà. Ci è parso opportuno dedicare un intero capitolo a questi esempi di applicazione affinché risultino chiari al lettore, attraverso l'analisi comparata, gli scopi, le modalità e le possibilità date dall'integrazione delle due tecnologie. I 5 casi esaminati si riferiscono a realtà geografiche diverse: malgrado ciò in ognuno di essi l'integrazione delle tecnologie GPS e GIS ha reso il servizio più efficiente e proprio questo è le scopo della nostra applicazione alla FNM, di cui parleremo in seguito. Nel capitolo l'analisi comparata verrà presentata prima della rassegna affinché chi non fosse interessato a tutti i dettagli possa procedere alla lettura del solo esempio di applicazione risultato dominante. Alla fine del capitolo verrà presentato un sesto caso in cui l'applicazione di GPS e GIS ha lo scopo di individuare la presenza di malfunzionamenti o guasti dei macchinari e di monitorare lo stato meccanico dei locomotori. Anche questo aspetto applicativo risulta importante nella realtà delle FNM, dove, secondo alcune statistiche, gran parte dei ritardi è dovuta a guasti dei locomotori.

4.1. Metodologia di analisi e risultati

L'utilizzo della ferrovia assume un ruolo rilevante principalmente a causa dei problemi di congestione del traffico aereo e del trasporto su strada, ma anche per merito di una maggiore sensibilità generale ai problemi di impatto ambientale, nata negli ultimi anni. Tuttavia, in Europa, il trasporto merci si svolge ancora prevalentemente con automezzi pesanti, essendo questa forma preferibile a livello economico e logistico. La continua necessità di competere con le altre modalità di trasporto sta portando le compagnie ferroviarie a migliorare i propri servizi ed ottimizzare la gestione dell'intero ciclo di vita delle infrastrutture. Il miglioramento del servizio implica la predisposizione di modelli di offerta adeguati a soddisfare la crescente domanda di mobilità, interpretandone le dinamiche, l'articolazione spaziale e le interazioni territorio. Un altro aspetto essenziale, perché il servizio pubblico acquisti caratteristiche di efficienza-efficacia, è l'ottimizzazione della gestione. Prima di poter applicare modelli logistici occorre però creare un sistema capace di monitorare i convogli in viaggio, con livelli di precisione e frequenza che consentano elevati standard di sicurezza e di visualizzare, manipolare e distribuire facilmente tutte le informazioni.

In Europa la sensibilità alle questioni ambientali è maturata pian piano fin ad avere oggi importante rilievo nelle politiche nazionali. Anche per questo è stata scelta la ferrovia come mezzo per combattere la congestione e l'impatto ambientale degli autoveicoli e di tutti i mezzi a benzina e diesel. Il tracciato ferroviario richiede solo un terzo dello spazio necessario per un'autostrada (Fevang, 98) e generalmente esistono, in tutti i Paesi europei, lunghissime tratte di binari, già posati, su tutto il territorio. Spesso non c'è bisogno di costruire nuove linee, ma solo di riammodernare quelle già esistenti. Negli Stati Uniti la realtà geografica è un po' diversa e quindi, data la vastità del territorio, più spesso che in Europa si devono costruire nuove linee per servire centri residenziali.

Le compagnie ferroviarie si sono convinte del fatto che, per incrementare il trasporto su ferro a sfavore di quello su strada, più flessibile e veloce, ma anche più inquinante, devono investire in nuove tecnologie capaci di fornire tutti i requisiti atti ad un miglioramento del servizio.

Generalmente gli **obiettivi** da raggiungere sono:

- elevati standard di sicurezza (grazie anche ad un sistema di posizionamento molto preciso e continuo);
- aderenza all'orario;
- disponibilità di informazioni per l'utente;

La tendenza a rendere competitivo il trasporto su rotaia appare evidente nella documentazione presentata in bibliografia. In particolare, abbiamo notato come molte compagnie, sia europee che americane, abbiano puntato sull'integrazione delle tecnologie GPS e GIS. Tale accoppiamento, tra l'altro, possiede il fondamentale requisito di comportare costi di installazione e di mantenimento relativamente bassi.

Il sistema di posizionamento satellitare ha il vantaggio di poter fornire dati in tempo reale, in continuo e con un livello di precisione elevato. Installare ricevitori GPS sui locomotori sembra, secondo alcuni studi svolti dalle compagnie stesse, meno costoso che non installare sistemi di posizionamento standard (boe, transponder, ecc). Anche la trasmissione dei dati risulta assai semplice, secondo le modalità già citate nei capitoli 1 e 3. Inoltre i GIS forniscono buone capacità di visualizzazione dei dati e di analisi territoriale.

L'analisi comparata dei cinque casi che presentiamo è basata sui seguenti **indicatori**:

- **Realizzazione**: indica se il progetto è stato realizzato o soltanto studiato o testato.
- **Posizionamento**: indica se la centrale di controllo utilizza GPS e GIS per monitorare i veicoli in viaggio. Questo livello d'uso consente una miglior gestione delle emergenze in quanto la posizione del treno risulta sempre nota con piccoli margini di errore.
- **Informazioni**: indica se è stato realizzato o previsto un sistema per avvisare i passeggeri dei ritardi.
- **Previsione ritardi**: indica se in caso di ritardo, la centrale di controllo usa modelli per prevedere l'orario di arrivo del treno.

- **Gestione in tempo reale**: indica se il sistema integrato GPS e GIS viene utilizzato dalla centrale di controllo per gestire il traffico in tempo reale a seconda degli scenari, sempre diversi, che si verificano nel corso della giornata.
- **Numerosità della flotta**: indica il numero di locomotori sui quali sono stati montati ricevitori GPS.

Di seguito riportiamo la tabella (6x5) in cui ad ogni colonna corrisponde uno dei casi studiati, mentre nelle righe compaiono gli indicatori prima citati. La presenza di una croce in una casella significa che il sistema possiede la caratteristica rappresentata dall'indicatore. Le colonne sono individuate dalle sigle della cinque compagnie ferroviarie per cui sono stati eseguiti i progetti e cioè:

- Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (Spagna), (FGC);
- West Coast Express (Canada), (WCE);
- Burlington Northern (Stati Uniti), (BN);
- ScotRail (Scozia), (SR);
- Freight FreeWays (Europa), (FFW).

	FGC	**WCE**	**BN**	**SR**	**FFW**
Realizzazione	X	X	?		
Posizionamento	X	X	X	X	X
Informazione	X	X		X	
Previsione ritardi	X		X	X	X
Gestione in tempo reale	X		X		
Numerosità della flotta	8	5	17*	4*	2*

Tabella 1 – Analisi comparata dei cinque progetti (colonne), effettuata secondo sei indicatori (righe).

Il punto interrogativo è dovuto al fatto che non siamo riusciti a sapere se il sistema della Burlington Northern, testato nel 1985, sia stato poi adottato definitivamente. Gli asterischi, che compaiono nell'ultima riga stanno ad indicare che i ricevitori GPS sono stati installati solo su una porzione della reale flotta di locomotori posseduti e gestiti

dalla compagnia. Infatti la BN possiede 2300 locomotori, la SR ne possiede 36 e la FFW dovrebbe gestire tutti i treni europei che aderiscono al progetto.

La prima riga della tabella mostra che soltanto in due casi l'integrazione di GPS e GIS è stata certamente adottata come sistema di controllo e posizionamento dei veicoli. La compagnia canadese ha trovato, in questa integrazione, il sistema ideale per risolvere i problemi di monitoraggio dei convogli in una rete di grandi dimensioni, mentre la compagnia catalana ha trovato in questo sistema la soluzione meno costosa.

La seconda riga ha invece crocette in tutte le colonne. In base all'indicatore posizionamento non possiamo, quindi, ritenere che uno dei cinque progetti sia più interessante di un altro. L'interfaccia GIS che abbiamo realizzato nel nostro progetto risulta simile, per funzionalità a quelle realizzate da FGC e WCE.

La terza riga della tabella evidenzia che solo tre compagnie, la FGC, la WCE e la SR, hanno adottato dei sistemi per informare i passeggeri dei ritardi. In particolare sia la compagnia scozzese che quella catalana prevedono di fornire anche l'orario previsto di arrivo. La comunicazione di informazioni agli utenti è considerata come uno degli aspetti fondamentali per rendere il servizio più efficiente (Chincoli, 1999).
Per quanto riguarda l'utilizzo di modelli per la previsione dell'orario di arrivo segnaliamo che soltanto la compagnia canadese, WCE, non effettua alcun calcolo di questo tipo, ma semplicemente adotta l'ipotesi che ogni convoglio mantenga il ritardo accumulato senza possibilità di incrementarlo o diminuirlo.

Per quanto riguarda il quinto indicatore, la gestione in tempo reale del traffico spiccano la compagnia statunitense e quella catalana. La prima si occupa di trasporto merci, mentre la seconda si dedica anche al trasporto passeggeri. Entrambe hanno il grande merito di aver proposto sistemi che permettano di prendere decisioni in tempo reale che si adattino alle condizioni del momento. I sistemi informativi hanno il grande vantaggio di consentire analisi territoriali e di fornire una visione completa della situazione della flotta facilitando la capacità di intravedere soluzioni adeguate. La FGC che ha effettivamente realizzato il progetto, ha una flotta di 8 locomotori, ma la gestione in tempo reale dei treni avviene soltanto a livello di un cancello. La BN, invece, ha gestito, in fase di prova, 17 veicoli su un tratto di linea lungo 239 miglia.

La compagnia FFW ha il merito di avere in progetto la gestione di una grande flotta a livello europeo, ma soprattutto ha diffuso il GIS-T realizzato in Internet. Pensiamo che anche questo tipo di sviluppo e diffusione capillare dell'informazione sia molto interessante e favorisca l'utente.

L'analisi della tabella permette di concludere che il caso più interessante e completo è quello delle FGC e ci pare di poter affermare che questa applicazione è anche la più simile alla nostra: per la realtà geografica, per gli obiettivi, per il fatto che la FNM si occupa solo di trasporto passeggeri e per le modalità di realizzazione.

Complessivamente, quindi, possiamo consigliare al lettore di concentrare la sua attenzione sul paragrafo 4.2 dedicato al sistema di FGC che nel gergo dell'analisi a molti attributi è quella "dominante".

I prossimi paragrafi vengono dedicati a una descrizione dettagliata delle applicazioni di cui si è parlato appena sopra.

4.2. Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, Barcellona: un sistema informativo ferroviario basato sul GPS.

Il trasporto su ferro è uno dei sistemi più sicuri ed economici per spostare persone e merci. Paragonandolo a quello su gomma, a parità di merce trasportata, consuma cinque volte meno combustibile (in termini energetici), è soggetto ad un sesto degli incidenti e, per quanto riguarda l'uso del suolo, occupa dieci volte meno superficie (Herce, 1999). Per questo non deve sorprendere che molte compagnie ferroviarie, riconoscendo il valore di questa risorsa, stiano espandendosi e migliorando la propria rete e le infrastrutture ad essa connesse. Tra queste vi è sicuramente la compagnia pubblica "Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya" (FGC) che opera fin dal 1979 su quasi 400 Km di linea interamente situati in Catalunya, regione autonoma a Nord Est della Spagna, comprendente le Province di Girona, Barcellona, Lleida e Tarragona.

L'impresa FGC, amministrata dal Governo Catalano, è prevalentemente dedicata a collegare Barcellona al resto della regione; più di 200.000 pendolari al giorno vengono convogliati verso questo forte polo attrattore dai molti centri residenziali che appartengono alla conurbazione e che risentono in qualche modo dell'indotto

Figura 4.1 - Inquadramento territoriale delle Ferrovie Catalane

socioeconomico generato dalla città. Vitale è il collegamento con gli altri grandi centri industriali regionali (vedi figura 4.1 e 4.7), come quelli del Vallès (Sant Cugat, Terrassa e Sabadell) e del Llobregat (Martorell, Manresa e Igualada). Altrettanto importanti risultano i collegamenti ai poli universitari di Bellaterra e Sant Cugat, rispettivamente sede dei campus dell'Università Autonoma di Barcellona (UAB) e della Scuola Superiore di Architettura dell'Università Politecnica Catalana (UPC).
Alla forte domanda dovuta al pendolarismo, si aggiunge il servizio di trasporto merci tra le miniere di potassio e sale di Sùria e Sallent ed il porto commerciale di Barcellona.

Nel ventennio 1979-1998 la compagnia FGC ha apportato svariate migliorie al proprio servizio, non solo rinnovando molte infrastrutture fisse, il materiale rotabile, le motrici ed i vagoni, ma anche raddoppiando le vecchie linee a singolo binario, riducendo i tratti ancora non elettrificati e migliorando le installazioni di sicurezza e di protezione automatica dei treni.

Nel 1997, per le linee al tempo non ancora elettrificate, è stato installato un sistema informativo basato sul posizionamento satellitare dei treni; mediante un ricevitore GPS a bordo delle motrici ed un sistema di radiocomunicazioni, la posizione dei treni viene trasmessa al centro di controllo del traffico (CTC) di Sant Boi, vicino a Barcellona.
Per rendersi conto dei progressi e degli sforzi compiuti dall'impresa è comunque opportuno considerare un breve excursus storico.

4.2.1. Inquadramento storico e caratteristiche delle Ferrovie Catalane

Le Ferrovie della Generalità di Catalunya (FGC) nacquero da un insieme di diverse compagnie concessionarie di ferrovie suburbane e regionali costruite tra la fine del secolo XIX ed il principio del secolo XX. Per le loro particolari caratteristiche, tra le

quali una situazione completamente deficitaria, queste ferrovie non furono integrate nella compagnia statale spagnola, la RENFE. La crisi economica e politica spagnola degli anni '70 provocò l'abbandono delle concessioni e la necessità da parte dell'Amministrazione Pubblica di farsi carico della gestione di tali collegamenti ferroviari. Il ristabilimento del Governo Autonomo di Catalunya e l'acquisizione da parte di quest'ultimo delle competenze in materia di strade ferrate regionali permise, nel 1979, la creazione della FGC come impresa pubblica dello stesso Governo.

Gli effetti degli scarsi investimenti per ammodernare le linee, realizzati dalle compagnie concessionarie negli ultimi anni della loro esistenza, si manifestarono al momento della creazione delle FGC. Lo stato dei suoi mezzi tecnici era precario quando non disastroso, così come l'attitudine al lavoro ed il livello di produttività delle risorse umane. Le pessime condizioni dell'intero sistema (vedi figura 4.2) richiesero che, per tutto il decennio '80-'90 e per parte del successivo, l'amministrazione dedicasse i suoi sforzi a rimodernare i mezzi tecnici ed aggiornare le risorse umane. Si procedette mediante approvazione, da parte del Governo Autonomo Catalano, di Piani Generali di Rinnovamento: il primo decennale 1981-1990, i successivi triennali.

Figura 4.2 - Stato di degrado delle linee nel 1979

Durante il periodo 1979-1998 è stata completata la costruzione dei raccordi con l'Università Autonoma di Bellaterra e con il porto di Barcellona via Sant Boi de Llobregat; sono stati interrati i tratti urbani nelle zone ad alta densità abitativa di Barcellona, Terrassa e Manresa, sono stati raddoppiati i binari e si è arrivati a sopprimere tutti i passaggi a livello sulla linea del Vallès; inoltre è stato soppresso il 75 % dei passaggi a livello esistenti sulla linea Llobregat-Anoia. Durante questo periodo, inoltre, sono stati installati nuovi sistemi di sicurezza, protezione e blocco automatico dei treni, sono stati rinnovati 300 Km di binari in tutta la rete e sono state costruite 25 nuove stazioni; in quasi tutte sono stati adeguati i parcheggi di interscambio esistenti.

Per quanto riguarda il materiale rotabile, sono entrate in servizio nuove unità di treni e sono state modernizzate completamente le antiche, tanto quelle per il trasporto di passeggeri, quanto quelle merci.

Per valutare l'impatto di questi interventi, la compagnia iniziò nel 1986 alcuni studi basati su questionari, indagini statistiche e segnalazioni di disservizio, che hanno permesso di conoscere l'opinione dell'utente a proposito del servizio fornito e di agire conseguentemente, basandosi sugli indici di soddisfazione rilevati.

Superata la difficile fase iniziale, a partire dal 1996, la compagnia ha potuto iniziarne una di miglioria ed espansione delle proprie attività, dedicandosi all'ottimizzazione della gestione in tutti gli aspetti tecnici ed economici ed alla cura della qualità del servizio, intesa come soddisfazione dell'utente.

Attualmente l'attività principale delle FGC consiste nella gestione di tre linee con caratteristiche differenti per evoluzione storica, numero di binari, sistema di trazione, ma soprattutto, per scartamento, tutte però accomunate dalla loro origine nella città di Barcellona (vedi figure 4.6).

La prima linea, chiamata Metro del Vallés, unisce la capitale con le città di Sabadell e di Terrassa, lunga 45 km, è interamente dedicata al servizio passeggeri. Nel primo tratto urbano effettua un servizio simile a quello di una ferrovia metropolitana, essendo connessa in varie stazioni con alcune linee del metro di Barcellona (TMB); sul resto della linea il servizio è di tipo suburbano.

La seconda, chiamata Llobregat-Anoia, unisce la capitale con le città di Manresa e Igualada; lunga 138 km, è dedicata al servizio passeggeri così come al trasporto merci, in particolare minerali. In un primo tratto anch'essa realizza un servizio di tipo metropolitano ed è connessa con la rete TMB, in un secondo, il servizio diventa suburbano e nel restante è di tipo regionale. Oltre Manresa esistono due tratte esclusivamente adibite al trasporto merci, principalmente sale comune e sale potassico, dalle miniere fino agli stabilimenti chimici e/o al porto di Barcellona.

Infine vi è la linea di Balmes che effettua trasporto urbano da Piazza Catalunya fino al monte Tibidabo.

Dal Marzo 1999, la totalità del servizio per passeggeri è effettuato con treni a motrice elettrica, mentre per i treni merci (del peso lordo di circa 1.200 tonnellate), vengono utilizzate locomotive a motore Diesel.

Le Ferrovie Catalane hanno anche in gestione varie linee di trasporto passeggeri su strada, due cremagliere di montagna ed alcune funicolari, inoltre hanno instaurato un

regime di collaborazione tecnica con il Servizio Ferroviario di Mallorca (SFM), con le Ferrovie della Generalità Valenciana (FGV) e l'Unione delle Ferrovie di Cuba (UFC).

La domanda da parte degli utenti, è passata dai 39 milioni di viaggiatori trasportati nel 1984 ai 53 del 1998, attraversando però un periodo di flessione; la tendenza del futuro sembra indicare una ulteriore crescita (vedi figura 4.3).

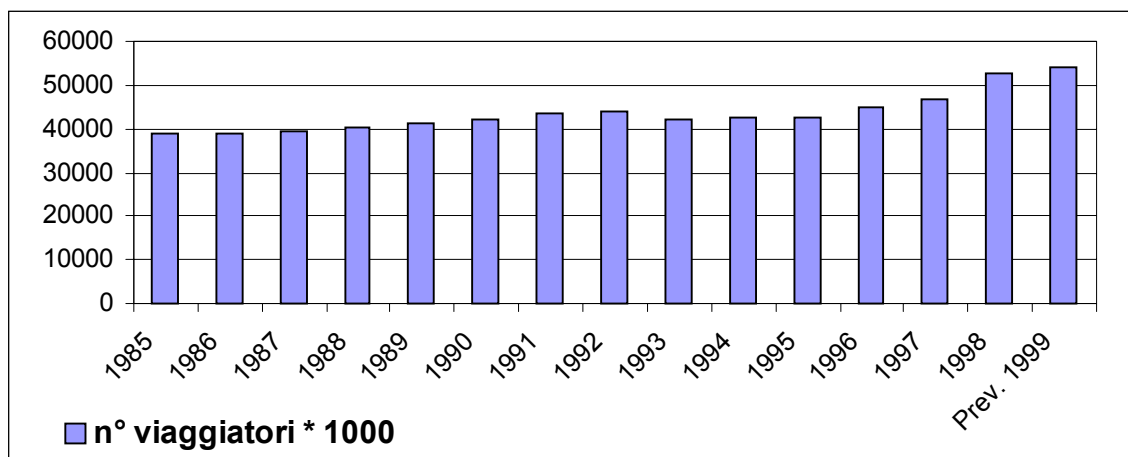



Figura 4.3 - Andamento del traffico passeggeri annuale *(fonte FGC 1999)*

La domanda di trasporto merci, ha avuto invece un andamento meno regolare, visibile in figura 4.4, verosimilmente correlato al mercato ed alla produzione mineraria. La compagnia ha potuto mantenere una quota di mercato maggioritaria nei confronti del trasporto su strada, altamente competitivo e aggressivo, solo grazie alle migliorie ed agli ammodernamenti introdotti, che hanno consentito un abbassamento dei costi del trasporto ferroviario (Herce, 1999).

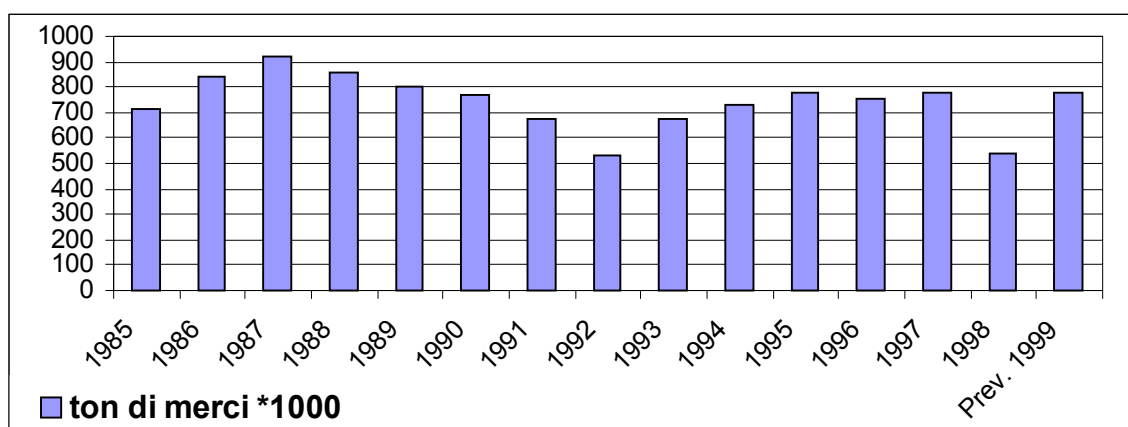



Figura 4.4 - Andamento del traffico merci annuale (ton) *(fonte FGC 1999)*

Da notare infine come il deficit di gestione stia diminuendo, nonostante i cospicui investimenti volti a migliorare la quantità e la qualità del servizio offerto; inoltre i costi di gestione sono aumentati in minor quantità rispetto all'incremento degli ingressi (vedi figura 4.5).

(Millones de PTA corrientes)	1994	1995	1996	1997	1998	Pres. 1999
Ingresos	4.806,6	5.144,8	5.524,7	5.955,7	6.299,0	6.700,1
Gastos	8.367,2	8.715,2	9.050,1	9.113,4	9.432,4	9.681,7
Déficit de la actividad	3.560,6	3.570,4	3.525,4	3.157,7	3.133,4	2.981,6

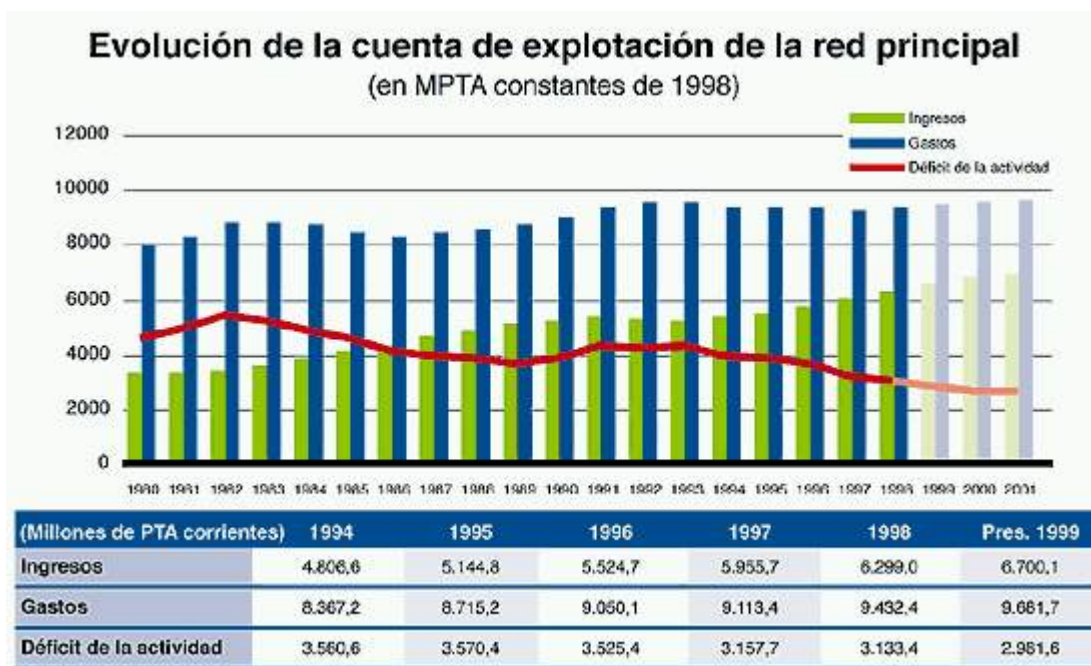



Figura 4.5 - Andamento del bilancio di gestione delle FGC

Per il futuro immediato le Ferrovie Catalane si propongono di terminare i lavori di rinnovamento della linea Llobregat-Anoia: costruzione di nuove stazioni in zone d'espansione urbanistica, sdoppiamento di binari, miglioramento del tracciato e delle infrastrutture, incremento e rinnovamento del parco treni. Tutto ciò per poter offrire un servizio metropolitano fino alla cittadina di Olesa de Montserrat, situata a 38 km da Barcellona: il Metro del Baix Llobregat.

Un altro progetto delle FGC è la ricostruzione della cremagliera che porta al monastero del monte Montserrat; la ferrovia, che si raccorderà con la linea Llobregat-Anoia, costituirà una valida alternativa di accesso a questo luogo, meta di turismo religioso ed escursionismo alpino, con gli evidenti vantaggi in termini di impatto ambientale rispetto all'uso dell'automobile.

Per un futuro più lontano, le Ferrovie Catalane hanno proposto all'Amministrazione Pubblica di portare a termine diversi prolungamenti alle linee con due obiettivi

principali: migliorare la copertura del trasporto pubblico nelle nuove zone urbane e realizzare alcune connessioni con gli altri operatori del trasporto pubblico, specialmente ferroviario, della regione metropolitana di Barcellona.

4.2.2. Obiettivo dell'adozione del GPS

Con questo excursus si è voluta illustrare la situazione in perenne divenire in cui si sono trovate le Ferrovie Catalane sin dalla loro creazione, per meglio spiegare l'innovativo intervento del 1997 riguardo al posizionamento in tempo reale con l'ausilio del GPS.

La maggior parte delle linee ferroviarie europee è attualmente elettrificata, la corrente viene fornita da cavi elettrici sostenuti da pali posti in mezzo o a lato dei binari. Con l'aggiunta di altri cavi, eventualmente ottici, si possono trasportare informazioni, relative, ad esempio, allo stato dei segnali ferroviari e dei passaggi a livello.

La posizione del treno è un informazione molto utile da veicolare: sensori elettronici o relais installati in alcune sezioni della linea notificano al posto centrale di controllo il loro stato di occupazione e quindi quello della sezione stessa. La trasmissione della condizione di libero o occupato avviene attraverso i sopraddetti cavi, semplici o in fibra ottica. Sebbene molto costoso (circa 600 milioni di lire al Km), questo classico sistema di controllo è fondamentale per l'efficienza e la sicurezza delle operazioni ferroviarie.

Nel 1995 tale sistema di sicurezza era utilizzato in tutte le linee delle FGC, tranne per i 35 Km della linea passeggeri non elettrificata che unisce Martorell a Igualada e per i due tratti di 50 Km, adibiti al trasporto merci, che collegano le sopracitate miniere di sale e potassio di Surià e Sallent con il porto commerciale di Barcellona. In figura 4.6 è riportato un quadro geografico generale

Queste linee erano, al tempo, troppo poco utilizzate per giustificare i costi di elettrificazione, venivano quindi impiegate otto motrici Diesel UT 3000, cinque delle quali tra Martorell e Igualada e le rimanenti sulle linee dedicate al trasporto merci.

Non essendoci altri sistemi di controllo, la posizione dei treni veniva notificata al posto centrale (CTC) tramite chiamate telefoniche da parte delle stazioni di transito ed il sistema di sicurezza utilizzato per la circolazione, era il blocco telefonico integrato con segnalazione manuale.

Figura 4.6 - Le linee Martorell-Igualada e Surià, Sallent Porto di Barcellona, interessate dal progetto GPS

Nel 1995 l'impresa decise di modernizzare anche queste linee, facendo in modo di notificare la posizione dei treni al Centro di Controllo del Traffico di Sant Boi (CTC). La compagnia cercò quindi l'alternativa economicamente più efficiente per il posizionamento dei treni; la soluzione fu l'installazione di ricevitori GPS sui locomotori. In una prima fase il sistema di posizionamento satellitare non assunse alcun valore di messa in sicurezza; non si pensò di poterlo utilizzare in sostituzione dei moderni sistemi di blocco automatico che permettono la circolazione di un solo treno per tratta di binario e regolano lo stato dei segnali.

Venne quindi richiesto solo un metodo per riportare la posizione dei treni al CTC da utilizzare come sistema informativo, ma, una volta istallato, la compagnia non tardò a scoprirne il valore aggiunto e, di fatto, iniziò ad utilizzarlo anche come ausilio ed integrazione dei sistemi di sicurezza.

4.2.3. Primi passi verso il GPS a bordo

Le premesse per l'utilizzo del GPS sembravano ottime essendo il territorio attraverso il quale si snodano le tre linee prevalentemente piano, tale da garantire continuamente la visibilità teorica dei satelliti. Tuttavia le perplessità della compagnia riguardavano i brevi tratti in galleria (200-300 m), dove il ricevitore non può agganciare il segnale dei satelliti Navstar ed i punti ribassati, "trincerati", che avrebbero potuto comportare un peggioramento dell'indice DOP (misura della "bontà" della geometria dei satelliti). Inoltre appariva difficile e delicata la scelta del sistema di comunicazioni tra unità mobili e centrale di controllo (CTC) che doveva avere caratteristiche tali da garantire la sicurezza e la rapidità delle trasmissioni; era importante anche non compromettere l'esistente collegamento vocale tra macchinisti e personale di terra.

La verifica della fattibilitá del progetto venne affidata alla società di ingegneria KNOSOS che realizzò una serie di prove nell'Ottobre 1995: i test vennero effettuati installando nella cabina di una motrice UT 3000 un ricevitore GPS a sei canali ed un computer portatile che ne registrava gli output.

Durante la marcia del treno la posizione indicata dal ricevitore GPS veniva visualizzata su cartine geografiche digitali in scala 1:5000 ed attraverso un software appositamente realizzato fu possibile effettuare un rilievo del tracciato ferroviario o meglio, di come esso veniva individuato dal GPS. Oltre le coordinate e la velocità dei treni vennero registrati i dati riguardanti il numero di satelliti visibili, l'indice DOP e la direzione di marcia (bearing =angolo di direzione). Attraverso l'ausilio di software di disegno assistito (Microstation) le coordinate acquisite vennero messe in correlazione con il sistema di riferimento adottato da FGC, il Chilometro Progressivo (KmP).

La visibilità dei satelliti e l'indice di geometria DOP vennero, infine, messi in relazione ai punti chilometrici della ferrovia lungo tutta la linea; i risultati furono eccellenti:

- il numero di satelliti visibili si tenne sempre tra 5 e 6 (eccetto in galleria);

- l'indice DOP si mantenne sempre al di sotto di 3.5, valore accettabile, essendo il limite inferiore di 3.

Le condizioni operative erano quindi buone, ma la precisione di posizionamento raggiunta con il ricevitore GPS in modalità assoluta, di 100m al 95 % delle volte, non sembrava soddisfare l'accuratezza richiesta; ciò suggerì la necessita di utilizzare un ricevitore in modalità differenziale, con tutti i vantaggi in termini di precisione e gli svantaggi in termini di costi e di complessità del sistema che ne sarebbero derivati. Tuttavia, la posizione esatta di un treno non è così importante come la conoscenza del tratto di binario occupato ed i convogli raggiungevano lunghezze spesso superiori ai 100 m. Ciò fece riconsiderare il valore della precisione ottenuta e la necessità di un GPS differenziale, inoltre, con un semplice algoritmo di riposizionamento delle coordinate fornite dal ricevitore GPS sul vincolo della linea ferroviaria, si raggiunse un'accuratezza di 70 m. Si scelse dunque di non installare una stazione per la somministrazione di correzioni differenziali, anche perché già dal 1995 era in fase di sperimentazione operativa un sistema di diffusione gratuita di tali correzioni a livello regionale e nazionale[1], che avrebbe potuto essere utilizzato nel futuro. Si diede quindi il via nel 1996 alla progettazione di un sistema basato sul GPS assoluto, ma con la possibilità a livello di hardware di integrarlo con ricevitori di correzioni in formato RTCM.

L'esito positivo di alcune prove effettuate per telecontrollare un segnale semaforico di via libera ai treni posto in un luogo critico e frequentemente soggetto a rotture e malfunzionamenti spinse la compagnia a prendere la decisione definitiva. Si trattava dello stato di apertura del cancello di entrata ed uscita dal porto di Barcellona che era regolato dagli operatori del centro di controllo i quali, una volta ricevuto da sensori posti lungo la linea il segnale di occupazione della tratta precedente alla porta, procedevano ad aprirla o ad attivare il segnale di STOP per il treno. In caso di cancello

[1] Si tratta del sistema RASANT, di diffusione via radio (frequenze RDS nella banda FM), delle correzioni differenziali calcolate in alcune stazioni di riferimento di interesse regionale. Tale servizio in Catalunya è completamente operativo dal 1996, sulle frequenze di Radio Catalunya Musica e, dal 1997, è utilizzabile su tutto il territorio nazionale spagnolo su quelle di Radio Nacional de España 3. In prossimità delle fasce costiere spagnole, per una frangia di 100 Km, le correzioni RASANT vengono anche ritrasmesse in formato RTCM dai Radiofari marittimi allo scopo di fornire un sistema di ausilio alla navigazione.

chiuso, i treni devono attendere il transito degli altri veicoli, essendo le priorità di passaggio, decise dalle Autorità Portuali. Tali sensori venivano però spesso danneggiati dall'intenso traffico di automezzi pesanti transitanti attraverso l'incrocio ed in prossimità della linea. Piuttosto che continuare a sostituire i sensori, risultò conveniente affidare al GPS il compito di rilevare la posizione del treno ed ad un modem di comunicarla via radio al personale del CTC che può regolare lo stato del segnale in base alla velocità del convoglio ed alla sua distanza dal cancello. In figura 4.7 è riportata una rappresentazione mediante quadro sinottico della porta, indicata come "porta B".

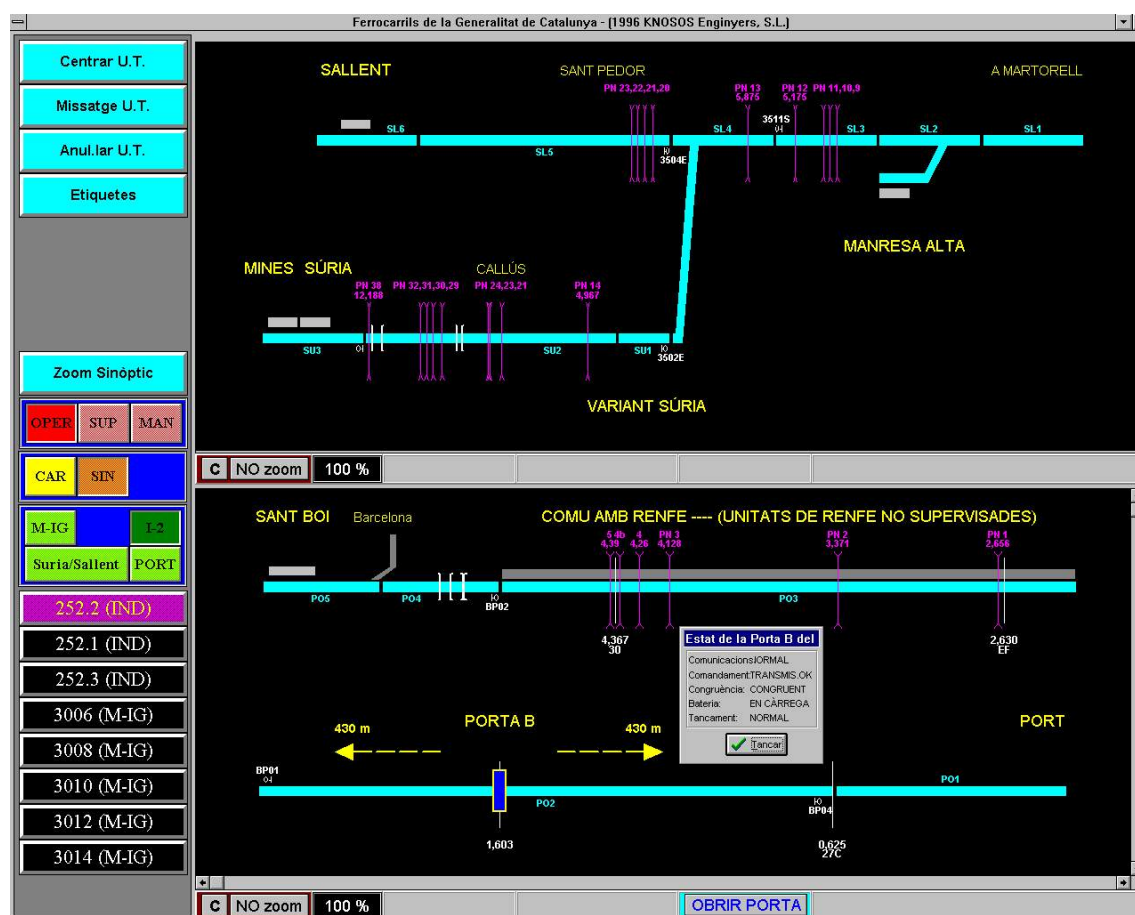



Figura 4.7 - Schermata del programma MicroNav: quadro sinottico della linea con dettaglio di scambi e segnali ferroviari; in particolare si può osservare la "Porta B" situata al porto commerciale di Barcellona

Da notare che al centro di controllo, grazie al firmware del microcontroller che viene accoppiato al ricevitore GPS ed al software di navigazione flotte, perviene anche

il codice identificativo del treno, che con i sensori tradizionali non era noto e che costituisce un'informazione aggiunta preziosa per gli operatori della centrale.

4.2.4. Il Sistema di Informazione, Traffico e Controllo Aiutato dal Satellite (SITCAS)

La tecnica di posizionamento dei veicoli mediante GPS richiede l'interazione di diversi sistemi di trattamento dei dati quali quello di ricezione dai satelliti, di trasmissione via radio, GSM o trunking, ad una centrale di controllo ed il trattamento di tali informazioni da parte di software specifici, che possono arrivare fino al dettaglio di un Sistema Informativo Territoriale completo.

Il sistema per la localizzazione dei treni istallato nel 1996 da FGC consiste in quattro componenti separate che interagiscono tra loro (vedi figura 4.8): la strumentazione di bordo comprende un ricevitore GPS accoppiato ad un microcontroller connesso con un radiomodem che, per mezzo di una rete di radiocomunicazioni su

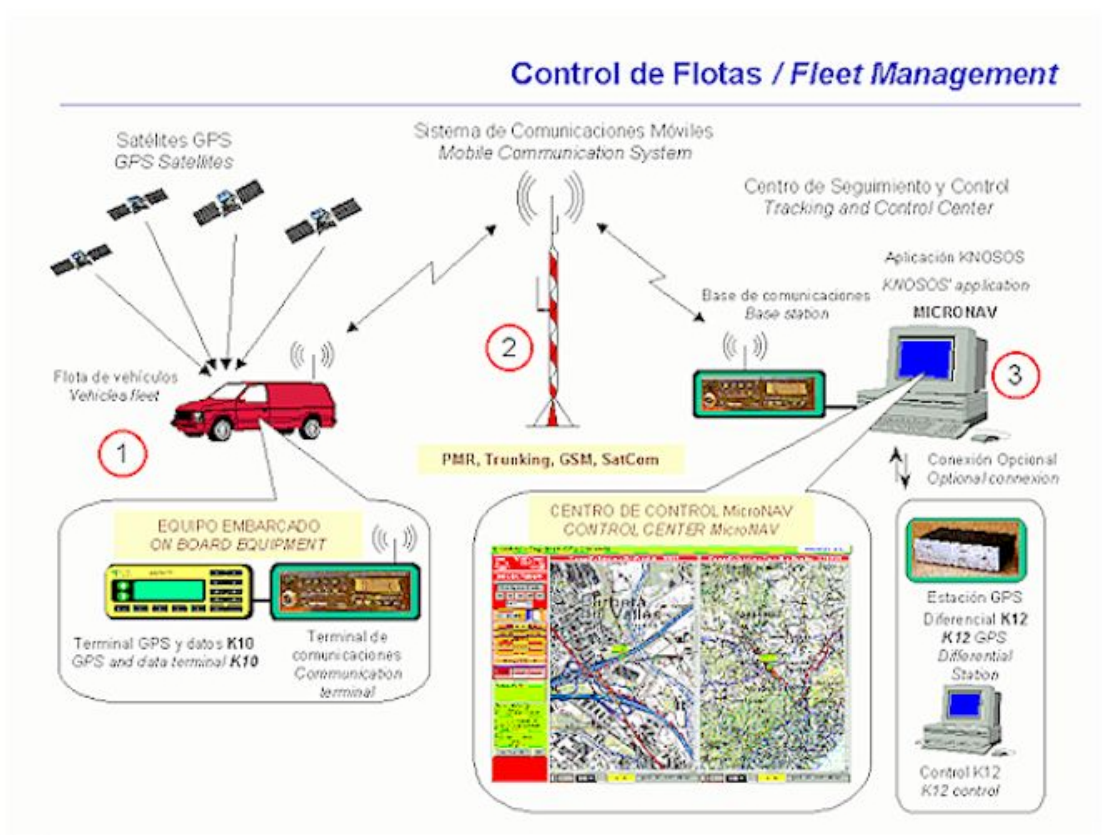



Figura 4.8 - Schema di gestione flotte

frequenze UHF, invia al centro di controllo (CTC) di S. Boi i dati di posizione, velocità e direzione del treno nonché i parametri di qualità del posizionamento ed i messaggi di errore. Al CTC vi è un altro radiomodem che, tramite un processo di comunicazione di *polling*, riceve ciclicamente i pacchetti di dati provenienti dalle varie unità circolanti. Queste informazioni costituiscono gli input del programma di gestione flotte, che, tra le altre funzioni, visualizza la posizione dei treni su cartografia digitalizzata raster e vettoriale e su un quadro sinottico che indica anche la posizione di scambi e segnali lungo la linea.

Al centro di controllo l'informazione viene utilizzata per gestire in tempo reale il traffico, la rete di comunicazioni permette l'invio di brevi messaggi dal CTC alla singola o a tutte le unità circolanti e da ciascun treno al CTC; tramite una rete diffusa ad architettura Client/Server i ritardi e le modifiche agli orari vengono distribuite su monitor dislocati nelle stazioni che costituiscono il sistema informativo dell'utenza.

4.2.4.1. Apparati di bordo

All'interno delle cabine degli otto locomotori UT3000 venne istallato lo stesso ricevitore GPS che era stato usato per le prove, un 6 canali della Trimble Navigation in grado di ricevere il codice C/A sulla portante L1 e di comunicare con un radiomodem (essendo integrato con un microcontroller), i dati di posizione, velocità, angolo direzionale, visibilità dei satelliti, DOP, tempo GPS, codice del treno ed età delle misure.

Al fine di garantire collaborazione da parte dei macchinisti questo tipo di hardware venne opportunamente installato all'interno della cabina, sul soffitto (figure 4.9 e 4.10), in modo da non essere né visibile né di impaccio al conduttore, mentre le due antenne dei ricevitori e quella del modem vennero montate sul tetto.

Su cinque degli otto locomotori venne anche sperimentata l'installazione dell'unità di posizionamento K10 (vedi figura 4.11), che fu affiancata alla normale strumentazione di bordo. Oltre ad integrare ricevitore e controller, quest'apparecchio possiede un piccolo monitor LCD ed un tastierino, il che consente al conduttore di comunicare con la centrale di controllo, digitando brevi messaggi che vengono poi inviati dal radiomodem. Ma la sua vera utilità sta nel permettere la ricezione in tempo reale di

aggiornamenti sul traffico ed eventuali messaggi od istruzioni repentine da parte del CTC, che il conduttore può anche stampare con una piccola stampante seriale, per leggerli più agevolmente. A tutti i messaggi vengono automaticamente associate l'ora e la posizione del momento in cui sono stati inviati e ricevuti.

Figura 4.9 - Un'unica "scatola" integra un ricevitore DGPS a 12 canali, un microcontroller ed un ricevitore di correzioni differenziali RASANT

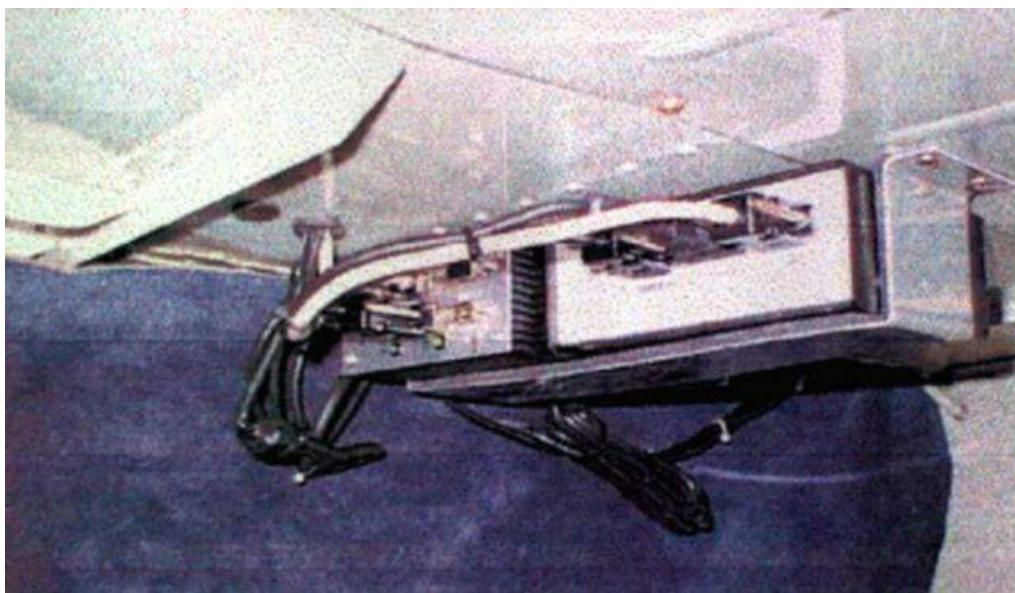



Figura 4.10 - Installazione "discreta" di ricevitore DGPS, microcontroller e radiomodem nella cabina di controllo di una locomotiva

Figura 4 11 - Il terminale K10 dà la possibilità al conduttore di comunicare con il CTC

Il processo di *polling,* tramite la rete di comunicazioni*,* interroga tutte le unità mobili, riceve le informazioni provenienti dal ricevitore GPS di ciascuna di esse e le comunica al CTC (insieme ad eventuali messaggi di errore), dove vengono visualizzate in opportune schermate del programma di gestione flotte MicroNav, che verrà descritto dettagliatamente nel paragrafo 4.2.4.4.

La comunicazione da parte del radiomodem del treno al *polling*, dell'intero pacchetto di informazioni GPS, comprensivo dei messaggi d'errore, richiede 1,5 secondi. Cosicché, quando tutti gli otto treni sono in circolazione contemporaneamente, la loro posizione viene aggiornata sugli schermi del CTC ogni 12 secondi[2]. Il cancello del porto di Barcellona, può essere considerato come un treno aggiuntivo, infatti, il ciclo di polling, include anche il monitoraggio del suo stato (aperto, chiuso, in apertura ed in chiusura).

[2] Il ricevitore GPS rileva però la posizione del treno ogni secondo, questi dati vengono inclusi nel pacchetto inviato al *polling* in maniera che al CTC se ne possa ricostruire la marcia con tale frequenza e registrare un file storico. Si può infatti programmare il numero di posizioni GPS che l'unità K10 deve immagazzinare in memoria RAM, per essere poi trasmesse in un solo ciclo di *polling* al CTC.

Il vantaggio del *polling* sta nella sua capacità di adattarsi al numero di treni in servizio e agli errori di trasmissione; per esempio, la frequenza di aggiornamento dei dati provenienti da un unità ferma, diminuisce automaticamente e ritorna a quella normale quando il veicolo riparte.

Inoltre, programmando l'unità K10, si riesce ad ottimizzare il canale di comunicazione, facendo variare alcuni parametri del *polling;* per ciascun veicolo si può ridefinire la priorità di aggiornamento (refresh) del suo stato, è possibile comunicare una posizione ogni intervallo di tempo o di spazio percorso oppure al verificarsi di alcuni eventi prestabiliti (superamento della velocità consentita in un determinato tratto, passaggio in una specifica sezione di binari, fermata fuori programma o tempo di stazionamento troppo lungo).

Il macchinista non viene comunque minimamente coinvolto nei passaggi di trasmissione dati: il processo di *polling* è completamente automatizzato ed interroga esclusivamente il modem che riporta anche eventuali errori o guasti del sistema (dalla mancanza del segnale GPS o della correzione differenziale fino al danneggiamento di un antenna). Anche al CTC il *polling* avviene automaticamente, senza richiedere l'interazione degli operatori.

In ogni modo, tutto il personale interessato dalle innovazioni apportate, partecipò ad un corso di aggiornamento durante il quale venne illustrato il funzionamento del nuovo sistema. Non si riscontarono molti problemi poiché tale sistema era stato progettato in modo tale che fosse compatibile ed integrabile con i controlli esistenti, risultasse user-friendly nella sua interfaccia e non intralciasse in alcun modo il lavoro degli operatori (Perez, Roca, 1997).

4.2.4.2. La rete di comunicazioni

Tutte le informazioni che vengono scambiate tra unità mobili e centrale di controllo passano attraverso la rete di comunicazioni, per questo la scelta della tipologia di rete influisce molto sull'efficienza e la rapidità del sistema. Le possibilità che si presentano, sono state discusse nel paragrafo 3.2 (canali radio dedicati, rete di telefonia mobile GSM, rete satellitare).

Da alcune considerazioni sulle caratteristiche del territorio interessato e da una semplice analisi costi-benefici effettuata dalla società di ingegneria KNOSOS, risultò conveniente l'utilizzo di un canale radio dedicato, in banda UHF, con velocità di trasmissione di 1200 b/s. Vengono sfruttate quattro frequenze in banda UHF da 400-430 MHz. La rete si avvale di tre ripetitori per trasmettere i segnali dai treni alla stazione base, il CTC di Sant Boi. In figura 4.12 è riportata l'architettura del sistema di comunicazioni che prevede la totale copertura delle tre linee coinvolte nel progetto: il ripetitore principale (un antenna colineare) è stato montato sulla già esistente torre di comunicazioni del Montserrat (1235 m s.l.m.) e copre il 65 % dell'area. Da qui vengono scambiati segnali, sia con il CTC di Sant Boi, che si trova ad una distanza di 45 Km, sia con i due ripetitori locali di Cappellades e del Porto di Barcellona. La necessità di un ponte radio con ripetitori locali nasce dalle peculiarità delle due zone: quella tra Cappellades e Igualada, presenta caratteri collinosi, con rilievi che, raggiungendo altezze di 400 m s.l.m., bloccano i segnali radio tra i treni ed il ripetitore principale. La zona del porto, invece, è soggetta ad un traffico di telecomunicazioni talmente intenso e caotico da richiedere un ripetitore dedicato. La rete descritta è in grado di sopportare trasmissioni di dati, ma anche di voce; per questo venne previsto il suo utilizzo per permettere ai macchinisti di notificare eventuali situazioni di emergenza al CTC anche oralmente. Nella figura 4.12 sono inoltre visibili i due nodi di Piera e del Porto, dove i treni devono lasciare la precedenza ad altri veicoli. I segnali di stato di questi incroci sono controllati elettronicamente dal CTC, in base alla posizione indicata dal GPS.

4.2.4.3. Il Controllo del Traffico Centralizzato (CTC)

Il centro di controllo di Sant Boi ha funzioni pienamente operative: macchinisti, capitreno e capistazione devono conformare le loro azioni alle disposizioni date dagli operatori che ivi lavorano. Per questo il personale del CTC deve disporre di strumentazione adeguata ed essere messo in condizioni di prendere decisioni in tempo reale.

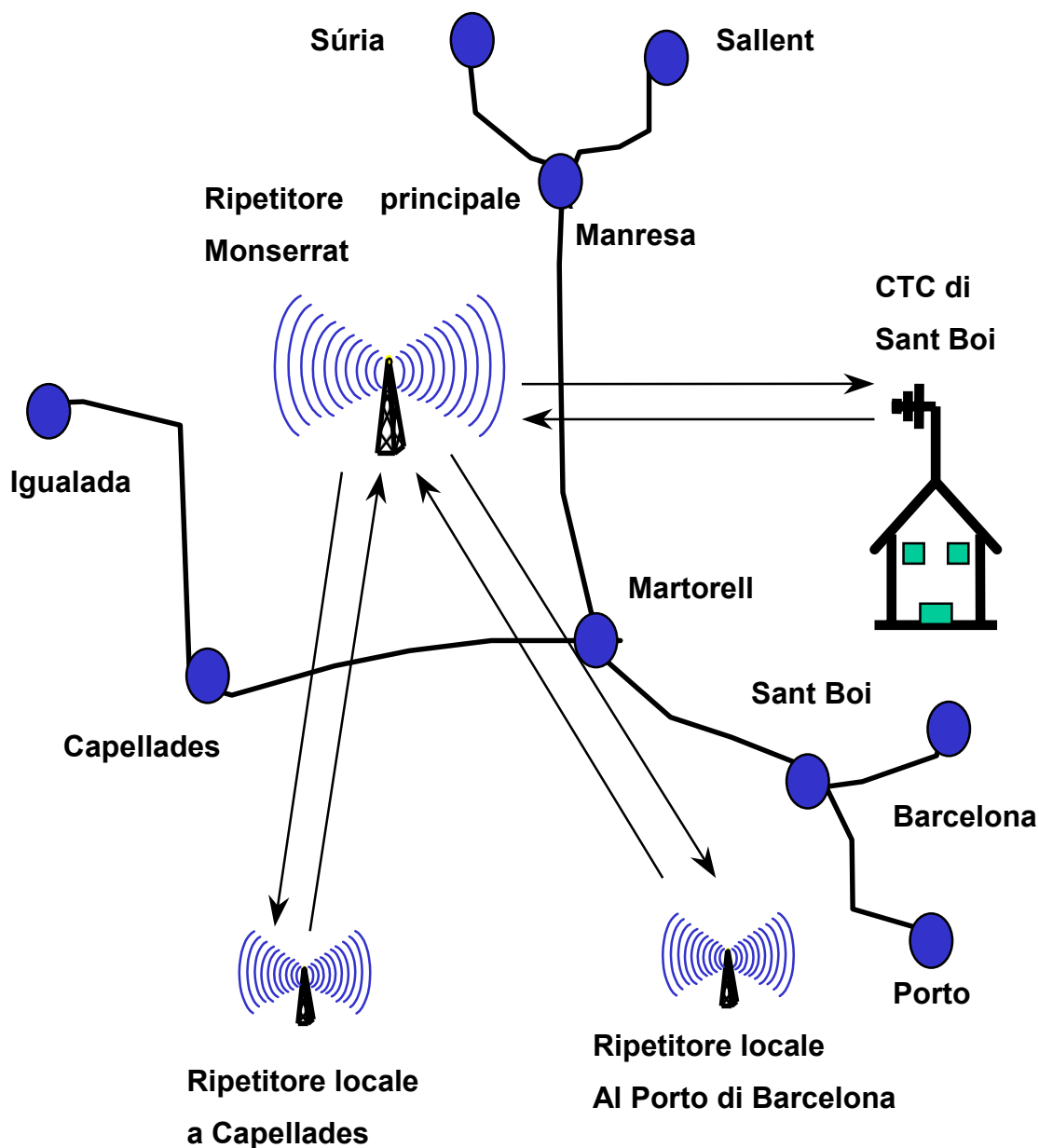



Figura 12 – Schema della rete di radiocomunicazioni

Al CTC l'interfaccia con gli operatori è costituita dal programma di gestione flotte MicroNav che riceve i dati provenienti dalla rete di telecomunicazioni e consente di visualizzare la posizione di un convoglio in modo analogo a quello con cui viene tradizionalmente rilevata: il sistema a circuito di binario, che viene chiuso dall'asse delle ruote e tramite un relais segnala l'occupazione della tratta. Si tratta del quadro sinottico della ferrovia, un semplice grafico non in scala che rappresenta, oltre le linee, i relativi sdoppiamenti di binario, le stazioni e le fermate, anche i segnali ed i passaggi a

livello. L'occupazione di una sezione è indicata con una luce rossa accesa sulla linea che la rappresenta. Il fatto che il sinottico non sia in scala permette agli operatori di tenere sotto controllo in uno stesso momento più sezioni di binari di lunghezza differente (in genere variabile dai 100 m ai 3 Km), inoltre aiuta a non creare gerarchie di importanza erronee.

Su una parete del CTC di Sant Boi era stato istallato nel 1992, proprio uno di questi immensi quadri sinottici (vedi sfondo di figura 4.13). Per non disorientare il personale con un cambiamento sostanziale e repentino della tradizionale visualizzazione, questa venne mantenuta anche sull'interfaccia di MicroNav; una finestra contenente un sinottico venne affiancata a quella rappresentante le mappe digitali di cui si dirà di più nel prossimo paragrafo.

Figura 4.13 Veduta del CTC di Sant Boi che integra il tradizionale quadro sinottico alla parete, con il software di gestione flotte MicroNav

Al fine di mantenere una certa coerenza tra le due forme di visualizzazione, venne effettuata una campagna di rilevamento accurato dei punti di importanza primaria, quali stazioni e segnali. Con l'uso delle moderne strumentazioni topografiche, che inseriscono i risultati di rilievi GPS, direttamente nei database territoriali GIS, fu possibile ridefinire le cartine vettoriali delle linee ferroviarie, vincolandone il passaggio

per i punti sopraddetti. Quest'operazione permise di costruire una funzione che mette in relazione i punti chilometrici lungo la ferrovia con la posizione sul quadro sinottico.

La combinazione delle due rappresentazioni grafiche, poste in finestre separate del programma (vedi figura 4.14), consente la visualizzazione rapida delle seguenti informazioni riguardanti ciascun treno circolante:

- posizione, indicata da due diverse icone a seconda che sia fermo o in movimento;
- codice numerico di identificazione ad esso associato, tramite il quale se ne può dedurre il binario di marcia;
- direzione e velocità, rappresentate mediante una freccia di lunghezza proporzionale a quest'ultima (vettore velocità).

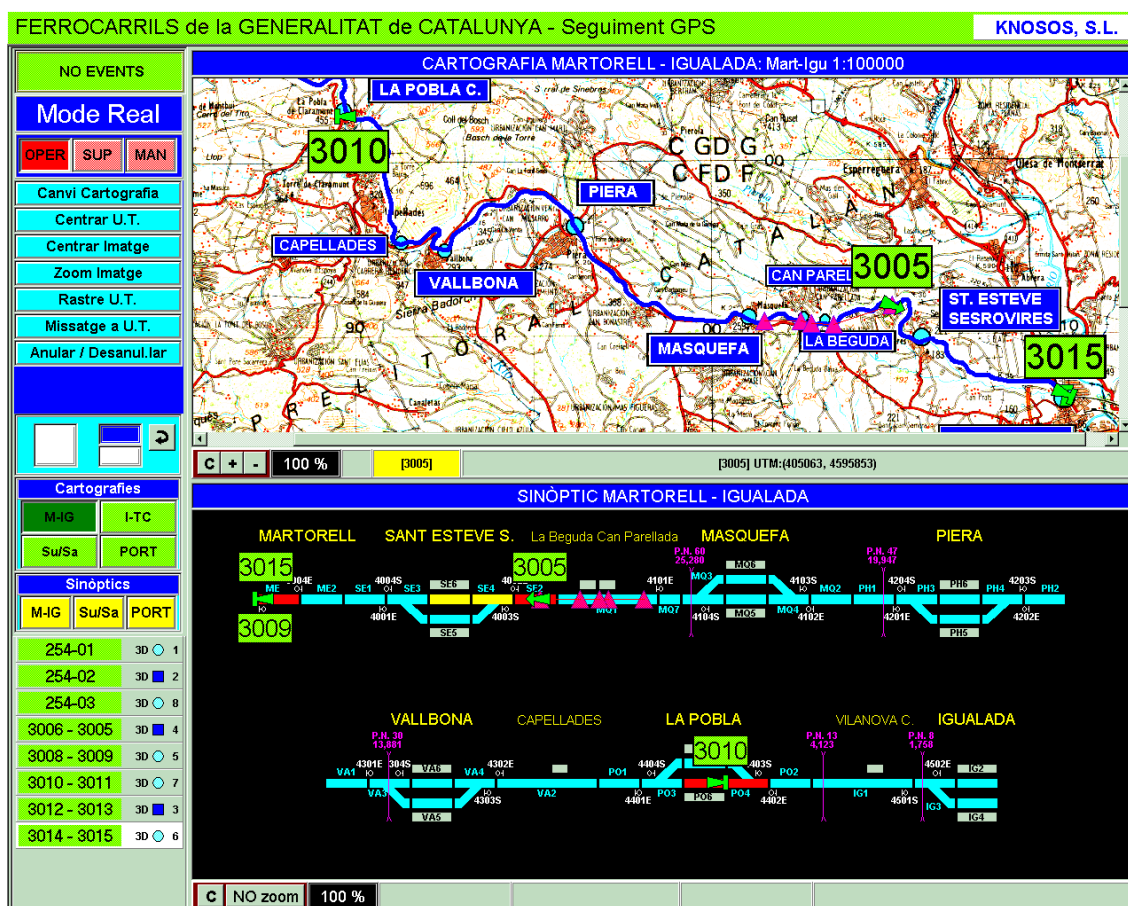



Figura 4.14 - Schermata del programma MicroNav: cartina raster 1:100000 e quadro sinottico con treni in movimento

Queste sono le caratteristiche base di un posizionamento via GPS, ma, come anticipato, si riuscì a sfruttare il sistema anche per alcune funzioni di messa in sicurezza:

- Separazione dei treni con ripetizione del segnale in macchina: la posizione di ciascuna unità mobile è associata, nel quadro sinottico, ad un punto chilometrico lungo la linea; quindi rimane sempre sotto controllo la distanza tra due convogli. Dal centro di controllo, questa informazione vitale per la sicurezza della linea, viene trasmessa a ciascun macchinista, tramite il display LCD del terminale K10. Se due convogli viaggiano troppo vicini, al CTC scatta un allarme sonoro e visivo, subito notificato ai conducenti tramite il canale di comunicazione vocale od un messaggio scritto e sonoro che compare sul monitor del K10. Sebbene non si tratti un sistema di sicurezza attivo, può essere considerato un sistema di allarme o di sicurezza passivo.
- Controllo limiti di velocità: a ciascun tratto di linea è associata una velocità massima di percorrenza. Se un convoglio supera la velocità consentita, scatta un allarme al CTC ed il personale può avvisare il macchinista. Tutti gli allarmi vengono registrati in un file storico, associati con i dati identificativi del treno (data, ora, codice, velocità, posizione...).
- Regolazione in tempo reale dei ritardi: insieme alle coordinate spaziali, al CTC giunge anche l'ora di ricezione associata, indicata dal ricevitore GPS. Confrontando via software le informazioni di ora e posizione, con la tabella di marcia teorica, è possibile conoscere in tempo reale ritardi ed anticipi. Ciò permette agli operatori del CTC di: consigliare ai conducenti e ai capistazione, il tipo di misure da adottare, generare in tempo reale un diagramma orario logaritmico (spazio-tempo) e confrontarlo con quello teorico, sovrapponendoli via software per tentare di farli aderire ed effettuare alcune previsioni sull'orario di arrivo nelle seguenti stazioni per comunicarle all'utente.
- Controllo del segnale di "uomo morto": è un sistema installato su tutti i moderni locomotori, impedisce al macchinista di distrarsi dalla guida od addormentarsi. In cabina vi è un bottone che ogni minuto emette un segnale sonoro; entro dieci secondi il conducente deve schiacciare il pulsante, altrimenti il sistema registra che è avvenuto un incidente e ferma il treno automaticamente. Il valore aggiunto del nuovo sistema basato sul GPS, consiste nel fatto che il messaggio inviato al CTC per notificare l'evento, viene automaticamente corredato di posizione e ora esatta. In

caso si verifichi realmente un emergenza, non si deve perdere tempo ad individuare il tratto di linea occupato e a cercare la posizione esatta all'interno di questo.

- Servizio di scatola nera e file storici: al CTC vengono immagazzinate le informazioni relative alla marcia di ciascun treno, in particolare posizione sulla linea e velocità. Dall'analisi di questi file storici si può risalire alle cause degli incidenti, ma anche effettuare considerazioni sulla frequenza dei guasti mettendoli in relazione al tratto di linea in cui avvengono.

Le figure dalla 4.14 alla 4.16 sono schermate del programma MicroNav a diversi livelli di zoom del quadro sinottico e di scala della cartografia raster.

4.2.4.4. Il software di controllo flotte: MicroNav

IL software applicativo MicroNav è stato realizzato in linguaggio Delphi da KNOSOS, appositamente per il sistema informativo delle FGC. La scelta di non utilizzare un programma già esistente sul mercato (come ArcView Tracking Analyst della ESRI), eventualmente integrato con nuovi moduli user-defined, fu dettata dalla necessità di poter offrire un prodotto versatile, in grado di adattarsi a qualsiasi tipo di flotta (treni, autobus, taxi, camion della nettezza urbana, ma anche elicotteri e navi) ed in grado di interagire con qualunque tipo di database territoriale e di GIS, senza privilegiarne uno in particolare.

Sostanzialmente MicroNav ha le funzioni di:

- gestire processi di comunicazione, supportando diversi protocolli (GSM, trunking, radio UHF/VHF e satellitari);
- visualizzare cartografia raster e vettoriale, il che gli dà caratteristiche simili ad un GIS, ma senza le funzioni di database territoriale. Per queste ed altre funzioni MicroNav è predisposto per interfacciarsi con altri programmi GIS;
- amministrare flotte, gestendo la messaggistica CTC-conducente, interrogando database di orari teorici, generando grafici e tabelle orarie in tempo reale, immagazzinando dati in file storici, rilevando la posizione delle unità mobili e mostrandola su mappe digitali e quadri sinottici e trattando messaggi di allarme e di errore del sistema.

Il software, che lavora in ambiente Windows 95/98 ed NT, permette il tracciamento della flotta di unità mobili, sia in tempo reale che in post-processing; in questo modo consente la consultazione del percorso di uno specifico veicolo in un dato giorno, all'orario prestabilito. I veicoli vengono visualizzati mediante icone variabili, a seconda dello stato della loro marcia, in una o più finestre contenenti rappresentazioni cartografiche (vedi figure 4.14-4.16). Su tali rappresentazioni si possono effettuare varie operazioni: zoom con o senza cambio automatico della scala cartografica raster, spostamento della mappa manuale o automatico che si centra sulla posizione del veicolo, selezione del tipo di icona e di etichetta da mostrare. L'utente può decidere di mantenere sullo schermo tutte le posizioni precedenti del mezzo mobile, permettendo la supervisione del suo percorso e la successiva stampa di questo. Lavorando accoppiato con l'unità K10 o con un portatile collegato al ricevitore GPS, MicroNav permette lo scambio di messaggi codificati tra CTC e unità mobili. Il programma è inoltre predisposto per lavorare in una rete locale LAN o WAN con architettura client/server.

Al CTC vennero aggiunti due nuovi computer con installato il MicroNav, uno per visualizzare la linea passeggeri Martorell Igualada e, l'altro, per le due linee adibite a trasporto merci che collegano Surrià e Sallent con il porto di Barcellona.

Per la visualizzazione dei veicoli su mappe digitali la compagnia KNOSOS digitalizzò diversi livelli di cartografia forniti dall'Istituto Cartografico Catalano: 1:200000, 1:100000, 1:50000 ed 1:5000. Il tracciato della linea venne quindi reso in formato vettoriale utilizzando queste cartine, i dati rilevati con la campagna topografica menzionata nel paragrafo antecedente e quelli forniti dalla compagnia ferroviaria stessa.

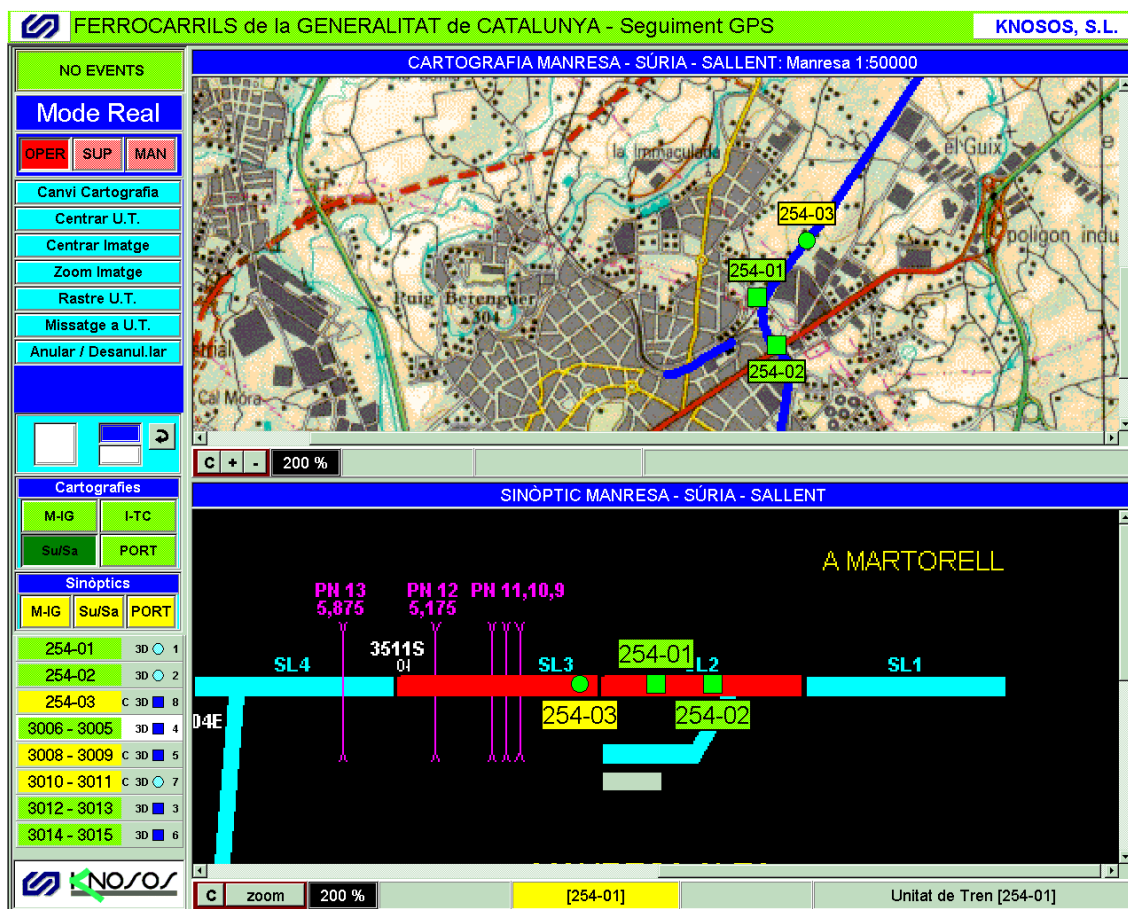



Figura 4.15 - Schermata del programma MicroNav: Cartina raster 1:50000 e sinottico a maggior dettaglio di zoom con treni in movimento

Per posizionare i treni sulle mappe, una volta che il pacchetto di dati proveniente dal *polling* giunge al CTC, MicroNav effettua una serie di conversioni di coordinate tra diversi sistemi di riferimento: dal sistema WGS 84 (World Geodetic System of 1984) usato dal GPS si passa al grigliato UTM (Universal Transverse Mercator), in particolare all'ED50, proiezione cartografica utilizzata per la cartografia di sfondo, infine al sistema di riferimento sullo schermo, in pixel.

Della rappresentazione mediante quadro sinottico si è già parlato il paragrafo precedente, resta comunque da sottolineare che anche su questa si possono effettuare operazione di zoom, come si può vedere in figura 4.15.

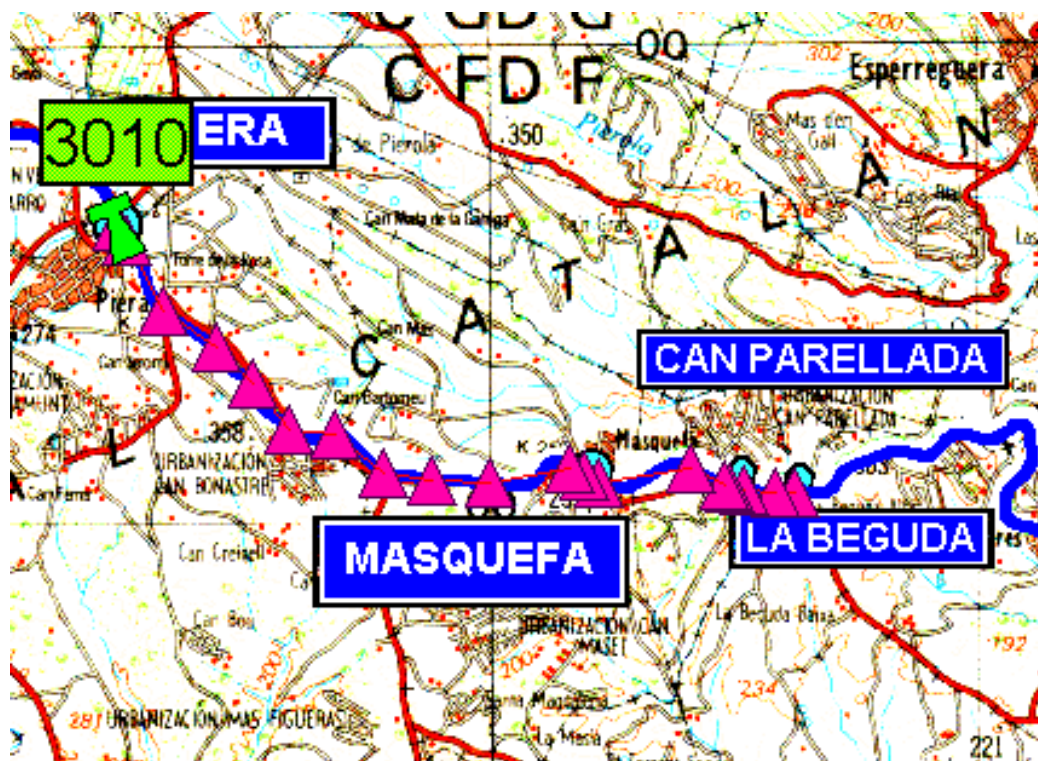



Figura 4.16 Particolare della carta raster con visualizzazione della posizione dei treni in post- processing

4.2.4.5. Il Sistema di Informazione al Cliente (SIC)

Spesso l'utente, il pendolare costretto a scontrarsi con ritardi e malfunzionamenti, si accontenterebbe di sapere almeno dov'è il treno che sta aspettando, quanto ci impiegherà più del consueto per arrivare a destinazione e perché deve aspettare. Conoscere queste informazioni dà sicurezza ai passeggeri, permette loro di organizzarsi conseguentemente e dà l'idea di un servizio efficiente. Questo tipo di informazione può essere distribuita agli utenti con esattezza e tempestività solo quando si conosce la posizione di ciascun treno circolante e si è in grado di organizzare queste informazioni.

Le Ferrovie Catalane hanno potuto installare un sistema automatizzato, solo quando, avendo integrato i tradizionali sensori di binario con la più moderna tecnologia GPS, si

è arrivati a far pervenire al Centro di Controllo del Traffico (CTC), le informazioni relative alla posizione di tutti i treni circolanti, aggiornandole ogni 3 secondi.

Il sistema (schematizzato in figura 4.17), tramite monitor dislocati nelle stazioni, mostra continuamente ed in tempo reale:

- il tempo di attesa per il prossimo treno per ciascuna destinazione;
- l'orario di transito delle successive 4 corse;
- la destinazione e le fermate intermedie dei convogli fermi in stazione;
- eventuali messaggi di avviso ai passeggeri e pubblicità ai servizi della compagnia.

Figura 4.17 – Schema dei passaggi che l'informazione compie prima di arrivare al cliente.

Il sistema, denominato SICv2 è innovativo per la modalità con cui interagisce con il CTC, dove viene gestita la circolazione, e per come raccoglie e tratta i dati. Il procedimento è automatico e semiintelligente nell'analizzare la posizione dei treni e confezionare l'informazione da far pervenire al pubblico.

Ogni 3 secondi il SICv2 riceve dal CTC, che lavora su server UNIX HP 9000, l'informazione riguardante la situazione di tutti i treni circolanti e di quelli programmati. Tale informazione ha bisogno di essere resa omogenea e riferita ad un quadro grafico completo di tutte le linee. Con la mappatura completa della situazione viene automaticamente determinato quale informazione si deve offrire a ciascun monitor, tenendo presente la sua ubicazione. Questo sistema è interamente basato su una piattaforma Windows NT 4.0 che sfrutta a fondo un'architettura Client/Server.

4.2.5. Conclusioni

Il sistema descritto divenne operativo alla fine del 1996 e risultò all'altezza delle migliori aspettative fungendo come strumento di telecontrollo, di posizionamento e di messa in sicurezza (in ausilio al blocco telefonico).

Una valutazione complessiva dei vantaggi operativi che ebbe FGC nell'introdurre un sistema di posizionamento satellitare, non può prescindere da alcune considerazioni riguardo agli investimenti effettuati. I costi complessivi di installazione si tennero sui 20 milioni di Pesetas; la parte più cospicua dell'investimento (8 milioni di Pts) fu dedicata alla rete di comunicazioni che, oggigiorno, sfruttando la tecnologia GSM, avrebbe costi molto più contenuti. Per il Centro di Controllo (digitalizzazione della cartografia, realizzazione del quadro sinottico, sviluppo e installazione del software da parte di KNOSOS) vennero investiti 7 milioni di Pesetas. Per le componenti montate sui locomotori (ricevitore GPS, radiomodem, terminale K10, ed antenne varie) si può considerare un costo, comprensivo dell'installazione, di circa 500'000 Pts per ogni unità, per un totale di 4 milioni di Pesetas. Infine per gli studi preliminari ed i test con ricevitore GPS effettuati nell'arco di 2 mesi, si spese 1 milione di Pesetas.

Tali investimenti sono da rileggere in chiave temporale: i costi odierni, sarebbero inferiori quasi del 50 %. Infatti le strumentazioni di bordo e del CTC sono oggigiorno più economiche e diffuse, così come l'Istituto Cartografico Catalano stesso dispone di cartografia digitalizzata. Per quanto concerne il software di gestione flotte MicroNav, al tempo fu appositamente realizzato, mentre ora si tratterebbe solo di adattarlo alle specificità dell'applicazione, essendo già stato ampiamente testato e utilizzato per molti tipi di flotte. Il lavoro più pesante, anche in termini economici, riguardò la definizione del quadro sinottico dettagliato con tutta la segnaletica ferroviaria.

Nel Marzo 1999 furono ultimati i lavori di elettrificazione della linea Martorell-Igualada, vennero posati cavi in fibra ottica e si istallarono i moderni sistemi di Blocco e Protezione Automatica. Tuttavia il sistema GPS è utilizzato ancora oggi come ausilio ed integrazione delle moderne installazioni di sicurezza. É infatti in grado di fornire al CTC più informazioni rispetto al solo stato di occupazione della tratta, quali il tempo effettivo di sosta di un treno, la sua velocità, oltre che la posizione con una precisione di 70 m, associata al codice del treno. Tali informazioni in tempo reale risultano preziose

per far marciare i treni in orario prendendo decisioni rapide. Inoltre, analizzandole in post-processing, risultano utili per inquadrare la situazione nei casi di malfunzionamenti del servizio, determinarne le cause e correlarle ai punti della linea per poi tentare di prevenire i disservizi.

Queste sistema risulta peraltro indispensabile per la gestione del traffico delle linee a singolo binario di Surià e Sallent, dedicate al trasporto merci e tuttora non elettrificate. I treni merci raggiungono infatti elevate lunghezze (200-300 m), viaggiano a velocità moderate (60-70 Km/h) ed hanno bassa priorità. Vale a dire che vi è la necessità di fermarli nel punto più indicato per non disturbare la circolazione degli altri treni e dei convogli di autoveicoli in transito al porto; risulta quindi preziosa l'informazione che perviene al CTC, relativa alla loro esatta posizione. Ciò ha consentito di diminuire l'entità delle attese e dei ritardi conseguenti ad una cattiva gestione delle priorità di passaggio.

Per approfondimenti si veda Luis Perez José, Roca Jordi, (1997a, 1997b, 1997c), Herce (1999), AA.VV. (1989, 1986, 1998).

4.3. In viaggio in orario

La compagnia canadese West Coast Express, WCE, gestisce una flotta di cinque treni, che effettuano un servizio giornaliero per i pendolari della regione. Ogni mattina centinaia di lavoratori si muovono dal centro residenziale di Mission, British Columbia, verso il centro metropolitano di Vancouver e ogni sera tornano a casa. I treni ultramoderni, disposti su due piani, prestano servizio cinque giorni alla settimana, dal lunedì al venerdì, solo nelle ore di punta, con una frequenza di circa 30 minuti: la mattina da Misson a Vancouver, la sera nel senso inverso. Il tragitto è lungo 65 km e comprende le otto stazioni mostrate in figura 4.18.

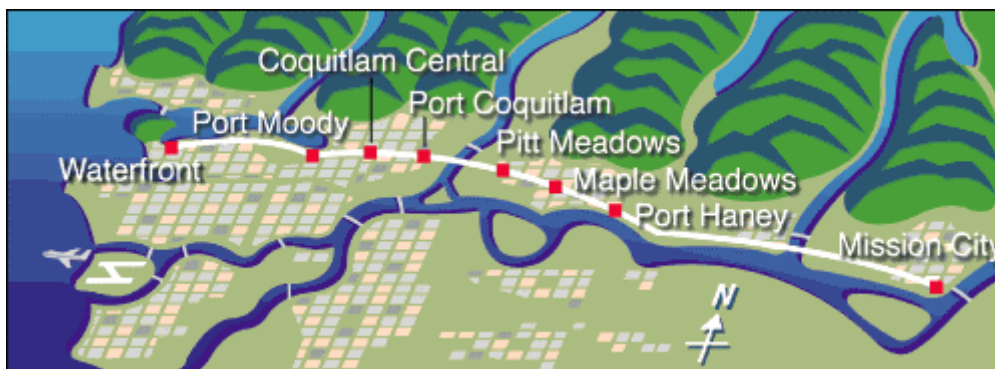



Figura 4.18 – Mappa della linea ferroviaria della WCE

Il tracciato si snoda attraverso montagne, immense foreste e campi, e costeggia il Fiume Fraser e l'Oceano Pacifico.

I pendolari, quasi tutti lavoratori, generalmente si appisolano sulle comode poltrone, leggono, ascoltano musica, lavorano sui personal computer, o si godono il paesaggio. Nelle stazioni attente hostes accolgono i passeggeri, li fanno accomodare al loro posto e offrono caffè, the, succo d'arancia, cappuccino e biscotti. La WCE, infatti, è convinta che sia essenziale fornire ai clienti un ottimo servizio in modo che, pienamente soddisfatti, i pendolari preferiscano il treno all'automobile. Questa strategia ha funzionato con ottimi risultati: la compagnia ha iniziato il servizio nel Novembre 1995 e subito ha raggiunto una utenza di 5000 passeggeri al giorno, attualmente l'utenza giornaliera è di circa 7700 passeggeri. Questo forte incremento è dovuto, in parte, alla nascita di nuovi centri residenziali lungo la linea ferroviaria, in parte al miglioramento delle condizioni di viaggio. La WCE ha calcolato che grazie al loro servizio le automobili in circolazione dovrebbero essere diminuite di circa 2,700 unità al giorno, il che comporterebbe anche un miglioramento delle condizioni ambientali.

4.3.1. Il GPS: una buona soluzione

Per soddisfare i pendolari i treni della compagnia WCE devono essere puntuali dieci volte al giorno, cinque giorni alla settimana, in tutte le otto stazioni in cui sostano. Sulla stessa linea, però, transitano circa 60 treni merci al giorno che non sempre consentono ai treni passeggeri di arrivare in orario. La WCE ha iniziato il servizio nel 1995 utilizzando il tracciato ferroviario di un'altra compagnia canadese, la Canadian Pacific

Railway (CPR). La linea esistente, infatti, possedeva già tutte le caratteristiche necessarie al transito pendolare, quindi WCE e CPR si sono accordate in modo da usufruire entrambe del medesimo tracciato. Talvolta i treni per trasporto merci della CPR, trovandosi davanti ad un treno passeggeri, ne causano un forte rallentamento. I primi, infatti, viaggiano ad una velocità inferiore di 20 km/h rispetto ai secondi. In questi casi risulta essenziale poter informare dell'entità del ritardo gli utenti sia sui treni, che nelle stazioni. I ricevitori GPS, oggi attivi sulle locomotive della WCE, consentono il posizionamento del treno in tempo reale, garantiscono questo tipo di informazione sui ritardi e permettono di migliorare le condizioni di sicurezza dei passeggeri.

La WCE ha aderito ad un programma per la sicurezza dei treni chiamato Commuter Rail Safety Management Program, che prevede standard molto elevati, ma il servizio pendolare, come già detto, fa transitare i suoi treni sulle rotaie della CPR, che adotta differenti sistemi di sicurezza. La Canadian Pacific Railway, per posizionare i treni, utilizza una serie di relais dislocati lungo la ferrovia a una distanza che varia tra 1.3 e 10.8 Km . Questo grado di accuratezza è sicuramente sufficiente per il trasporto merci, ma non lo è affatto per il trasporto passeggeri. I treni, infatti, viaggiano spesso in zone isolate e a velocità abbastanza elevate (fino a 120 km/h); in caso di emergenza di qualunque tipo, risulta importantissimo per la compagnia sapere dove si trovi esattamente il treno. Il GPS è un'ottima soluzione in grado di soddisfare le esigenze della WCE:

- migliorare le condizioni di sicurezza dei passeggeri;
- monitorare costantemente la posizione dei treni;
- avvisare i pendolari dei ritardi;
- garantire una miglior collaborazione con la compagnia CPR.

Nel Giugno del 1997 la compagnia iniziò una serie di ricerche per individuare la tecnologia più adeguata ed efficiente al raggiungimento degli obiettivi preposti. Il risultato fu l'installazione di un sistema AVL: il primo in Canada in ambito ferroviario.

4.3.2. Componenti del sistema

Ogni locomotiva è stata dotata, nel Maggio del 1998, di un ricevitore GPS e di un radiomodem in grado di comunicare i dati generati dal controller GPS alla stazione di controllo di Vancouver. La scatola contenente ricevitore e modem è alimenta da una batteria a 12 volt ed è montata sul tetto della locomotiva. Il radio modem riceve i dati GPS e automaticamente li trasforma in *Cellular Digital Packet Data* (CDPD) ogni 45 secondi. I dati CDPC vengono trasmessi attraverso una rete di telefonia cellulare locale, in pacchetti di dati (non in continuo), alla stazione di controllo dotata di un'antenna e di un radiomodem dello stesso tipo di quello montato sulle locomotive. I dati CDPC ritrasformati dal modem, a Vancouver, vengono visualizzati su un monitor. In particolare, come indicato in figura 4.19 il ricevitore GPS usato è il CM3 della Trimble, a 5 canali, il radiomodem è un MP 200, la rete telefonica usata per la comunicazione è una rete locale della BC Tel Mobility.

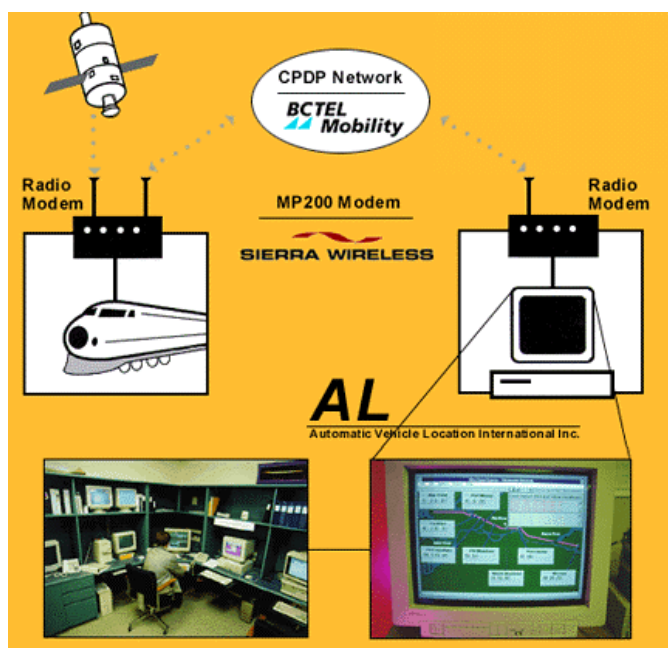



Figura 4.19 – Il sistema AVL: ricevitori GPS, radiomodem e software della centrale di controllo

Al centro di controllo di Vancouver i dati vengono aggiornati ogni 45 secondi ed il movimento dei treni viene posizionando\ i treni rispetto a mappe del territorio circostante. Questo consente di localizzare il convoglio rispetto a incroci stradali, a centri abitati e a altre caratteristiche del territorio. A Vancouver usano il programma TrainTrac che funziona con MapInfo. Questo software consente la visualizzazione contemporanea due finestre: un quadro sinottico e una mappa digitale, come mostrato in figura 4.20.

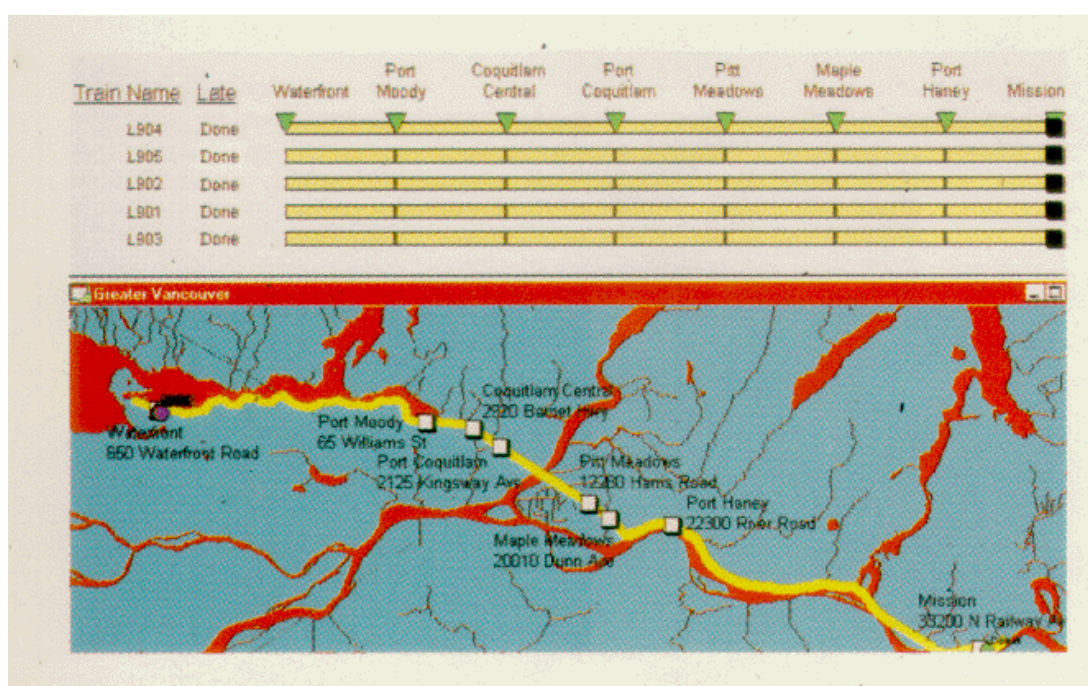



Figura 4 20 – Quadro sinottico e mappe digitali in formato vettoriale

Il quadro sinottico mostra la posizione del convoglio lungo il percorso rappresentato da una linea in cui vengono indicate le stazioni con il loro nome; ogni treno percorre la propria linea da destra a sinistra la mattina e da sinistra a destra la sera. I treni in transito sono visualizzati come un punto luminoso la cui posizione viene aggiornata tutte le volte che alla centrale di controllo arriva un messaggio dal ricevitore GPS. Questo quadro mostra, in una colonna sul lato sinistro del video, i codici dei treni e la loro aderenza all'orario. Il ritardo segnalato in minuti e secondi assume segno positivo, mentre l'anticipo ha segno negativo: per esempio – 2,30 significa che il treno è in anticipo di 2 minuti e 30 secondi rispetto all'orario previsto. Il sistema prevede inoltre

che appaia sullo schermo un messaggio di avviso quando il ritardo supera i 2 minuti. Tale messaggio, accompagnato dall'emissione di un allarme sonoro, riporta il codice del treno e l'entità del ritardo. Il cursore indicante il convoglio in questione cambia colore in modo da consentire una facile visualizzazione della situazione dei treni in viaggio. Quando il ritardo supera i 5 minuti l'allarme suona tre volte e il messaggio indica "molto in ritardo".

Queste informazioni vengono divulgate in tutte le stazioni in modo che si possano annunciare i ritardi e che gli operatori degli autobus possano decidere se attendere la coincidenza con un treno in ritardo. Tutti i mezzi di trasporto hanno un leggera flessibilità nell'orario previsto di partenza, ma la tolleranza non può essere elevata. Il conducente dell'autobus può decidere di aspettare il treno con il quale ha generalmente coincidenza, solo se quest'ultimo arriverà entro pochi minuti. Il sistema di posizionamento satellitare, consentendo di conoscere l'entità del ritardo, permette una gestione in tempo reale delle coincidenze con altri mezzi di trasporto pubblico.

La mappa che compare nella finestra in basso in figura 4.20, è in formato raster e riporta la posizione geografica dei convogli in viaggio e i dati geografici della regione circostante. Le locomotive sono indicate sul monitor sempre attraverso un simbolo luminoso, che cambia colore se le nuove coordinate non vengono aggiornate da più di 90 secondi. Questo tipo di rappresentazione consente di effettuare operazioni di zoom, fino a raggiungere una mappa molto dettagliata della zona. Si possono visualizzare strade, autostrade, passaggi a livello, aeroporti, edifici. Queste informazioni risultano essere molto utili in caso di emergenza. Una volta nota la posizione del treno, si può identificare il percorso ottimo per far giungere i soccorsi nel minor tempo possibile, si può trovare la via di accesso alle rotaie e si possono avvisare i soccorsi (pompieri, ambulanze, polizia o semplicemente tecnici per guasti) più vicini alla zona in cui il convoglio risulta essere bloccato.

Il software usato è un'interfaccia GIS, infatti è dotato di pulsanti tipici di queste applicazioni; in particolare tre bottoni sono specifici del sistema AVL. Il primo, se cliccato, consente di scegliere un treno su entrambe le finestre e quindi automaticamente lo zoom si dispone ad un livello di 5 Km e genera una visione centrata sul treno selezionato. Ciò consente di seguire un convoglio alla volta e di visualizzarne il

territorio circostante. Il secondo bottone consente la medesima operazione per le stazioni. Il terzo fa ritornare alla visione globale del quadro sinottico e della mappa raster.

4.3.3. Conclusioni

I costi per il sistema AVL e GPS hanno raggiunto il valore di circa 50'000 dollari canadesi , si sono aggiunti costi supplementari di 10'000 dollari per i test preliminari e 750 dollari mensili per la compagnia telefonica che trasmette i dati. Secondo la compagnia canadese questi costi sono stati pienamente ammortizzati dal miglioramento del servizio pendolare, sia per quanto riguarda la puntualità, che la sicurezza dei passeggeri.

Il flusso dei pendolari, nei prossimi anni, è destinato crescere principalmente a causa della rapida espansione di centri residenziali nella zona. Se il numero dei treni della flotta WCE dovesse realmente aumentare, per la compagnia canadese non ci sarebbero grandi problemi, basterebbe dotare le nuove locomotive di ricevitori GPS e radio modem e tutto funzionerebbe perfettamente. Il software usato, infatti, è adattabile ad una flotta di qualsiasi dimensione. L'unico problema sarebbe forse quello di gestire la circolazione dei treni passeggeri e merci nelle ore di punta.

La CPR, visti i risultati delle nuove applicazioni tecnologiche nel campo dei trasporti su rotaia, sta già considerando la possibilità di adottare il medesimo sistema della WCE. Per gestire meglio il trasporto merci nei periodi di operatività del servizio pendolari la Canadian Pacific Rail potrebbe usufruire delle attrezzature della West Coast Express. In particolare a Calgary, il centro di controllo della CPR, potrebbe ricevere informazioni sulle posizioni dei convogli, direttamente dalla WCE, e usare il medesimo sistema di visualizzazione su monitor. Tutto questo consentirebbe un miglior coordinamento fra le due compagnie e una conseguente diminuzione dei conflitti anche nel caso che la flotta WCE diventi più numerosa.

Per maggior informazioni e dettagli si rimanda alla bibliografia (Webb, 1999).

4.4. Un sistema elettronico basato sul posizionamento satellitare per gestire il traffico sulla linea ferroviaria più lunga degli Stati Uniti

La compagnia statunitense Burlington Northern (BN) possiede 2,300 locomotori e 60,000 vagoni e organizza circa 900 convogli al giorno per trasportare merci su una rete ferroviaria lunga 23,391 miglia, mostrata in figura 4.21.

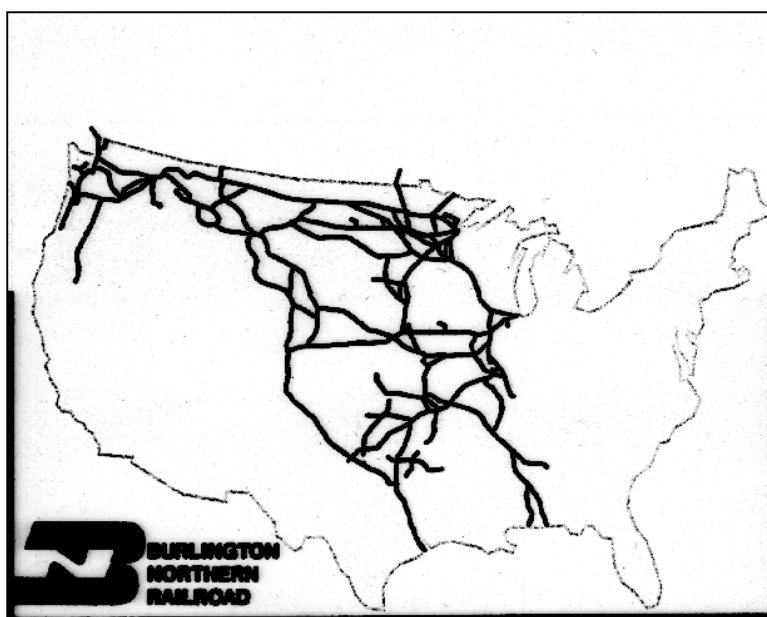



Figura 4.21 – Linea ferroviaria della Burlington Northern Railroad,USA

Nel 1985 la compagnia dotò 17 veicoli (15 locomotori e due macchine da lavoro) di ricevitori GPS e dell'hardware ARES (Advanced Railroad Electronics System). Quest'ultimo è un sistema che, ricevendo informazioni sulla posizione dei convogli e sulla loro velocità attraverso sensori, non necessariamente GPS, può aggiornare in tempo reale il piano di gestione delle operazioni.

La BN ha bisogno di incrementare ed espandere la propria attività in modo da poter competere con le compagnie di trasporto merci su ruota. I camion, sebbene costino almeno il doppio, offrono un servizio più flessibile ed efficiente: viaggiano a velocità più elevate, in caso di traffico sono liberi di cambiare percorso e offrono un servizio "porta a porta". Per questo le compagnie ferroviarie si applicano e studiano nuovi sistremi in modo da trovare soluzioni atte a rendere il proprio servizio più competitivo.

La compagnia BN soddisfatta della prova, nel 1990 era decisa ad adottare definitivamente il sistema ARES basato sul posizionamento satellitare (GPS).

4.4.1. Profilo del sistema

Il sistema ARES, una volta ricevuti i dati riferiti ai veicoli in viaggio (posizione e velocità), è capace di fornire in circa 30 secondi un nuovo piano per gestire al meglio la flotta di treni. Le informazioni, che in questo caso provengono da un ricevitore GPS, vengono inserite in un sistema di controllo computerizzato che produce tutte le indicazioni per operare ottimamente: quali convogli rallentare, a quali dare la precedenza, quando e dove far intervenire le squadre di lavoro, quando ritirarle in caso di avvicinamento di un treno, ecc.

Numerosi eventi imprevisti e possibili combinazioni di condizioni di viaggio: guasti meccanici, errori umani, zone di rallentamento per lavori, velocità di viaggio diverse, precedenze da rispettare a seconda del carico trasportato (merci deperibili), rendono in ogni istante differente lo scenario in cui prendere decisioni. ARES è capace di generare soluzioni in tempo reale in funzione non solo delle differenti situazioni, ma anche dei costi, che aumentano ogni volta che si verifica un nuovo imprevisto. Il sistema, nel generare il piano di azione, tiene conto, non solo del costo effettivo di trasporto, in cui è inclusa la paga dell'equipaggio, ma anche di quello aggiuntivo che si verifica quando il carico viene consegnato in ritardo. La compagnia statunitense lavora con un orario flessibile all'interno di una finestra di quattro ore: se il ritardo di consegna supera le due ore i costi aumentano notevolmente. L'obiettivo è quindi quello di far giungere la merce a destinazione il più possibile in orario.

Per competere a pari livello con le altre compagnie, la BN ha anche iniziato ad utilizzare come vagoni dei container che possono viaggiare sia su rotaia che su strada in modo da poter offrire un servizio "porta a porta", ma per far questo la compagnia deve essere in grado di coordinare al meglio treni e rimorchi. ARES permette di mantenere informati i clienti sull'orario previsto di arrivo del convoglio, in modo che, nei punti di scarico e scambio, i veicoli siano sincronizzati e che le merci o i container non debbano sostare troppo a lungo in magazzino una volta arrivati a destinazione.

4.4.2. L'opzione del GPS

L'informazione fondamentale che il sistema ARES necessita in ingresso è la posizione del veicolo in tempo reale, in modo da poter comprendere quali convogli sono in ritardo, quali in anticipo, dove sono i treni guasti che necessitano di soccorso, ecc. La compagnia statunitense ha scelto il sistema di posizionamento satellitare in quanto è convinta che questo sia in grado di risolvere alcuni problemi caratteristici degli attuali sistemi di posizionamento, detti terrestri. I principali vantaggi del GPS sono:

- la capacità di non accumulare gli errori: la posizione del veicolo viene ricalcolata ogni volta indipendentemente dalla posizione precedente;
- la possibilità di avere una via di comunicazione dedicata;
- la capacità di fornire dati in tempo reale, in continuo e 24 ore su 24.

La compagnia reputa che, sebbene i treni merci non viaggino a velocità elevate (al massimo 60 miglia all'ora), conoscere la situazione del traffico in tempo reale sia essenziale per poter intervenire tempestivamente e permettere ad ARES di venir aggiornato continuamente. La BN ha però deciso di integrare diversi sistemi di posizionamento (ad esempio transponders e GPS) in modo da fornire in input ad ARES una grande varietà di dati. Negli Stati Uniti la maggior parte delle compagnie ferroviarie utilizza per il posizionamento dei veicoli sistemi tradizionali, simili a quelli utilizzati anche in Europa, ma questi spesso necessitano di installazioni più complicate e hanno costi di mantenimento più elevati. Per questo la BN ha optato per il GPS sebbene in alcune situazioni come nei terminal, dove dozzine di treni devono viaggiare in parallelo, o in prossimità di uno scambio l'accuratezza di 100 m, dovuta alla SA, non risulta essere sufficiente. Per ovviare a questo inconveniente la BN ha considerato l'opportunità di adoperare GPS differenziali che forniscono un'accuratezza di circa 25 metri. La compagnia ha calcolato che i costi aggiuntivi dovuti all'installazione delle stazioni differenziali lungo al linea dovrebbero essere di circa 100'000 dollari. Per diffondere l'informazione nei treni e nei computer la compagnia dovrebbe ammodernare il sistema radio esistente e installare l'attrezzatura nella centrale di controllo, il che comporta ulteriori costi aggiuntivi. Nonostante questo BN è convinta che questo sistema potrebbe realmente rendere il servizio più competitivo.

La compagnia BN utilizza i GPS differenziali anche per monitorare il tracciato e le infrastrutture annesse con estrema precisione: quattro veicoli, dotati di ricevitori GPS, viaggiano lungo la linea ferroviaria ed accumulano informazioni che vengono memorizzate in basi di dati poi utilizzate anche da ARES. Il database, consultabile sia dal convoglio che dalla centrale di controllo, permette di associare alle informazioni sul treno (posizione e velocità) la struttura della linea, in modo da poter controllare costantemente che in prossimità di elementi pericolosi l'andatura del treno non sia eccessiva: il macchinista può sapere in anticipo che si sta avvicinando una curva e quindi controllare la sua velocità. La maggior parte degli incidenti, infatti, è dovuta ad eccessi di velocità; quindi, conoscere esattamente la posizione del convoglio rispetto alle infrastrutture e la topologia della rete, può aiutare gli addetti a prevedere pericoli imminenti.

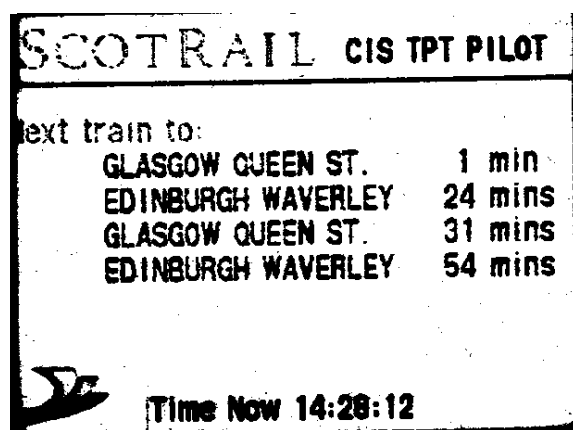
La compagnia statunitense ha pensato di investire i propri capitali nel sistema ARES, prevedendo costi di circa 350 milioni di dollari e avendo calcolato che esso renderà nei prossimi 15 anni tre dollari per ogni dollaro investito. La compagnia, inoltre, si è sempre distinta per l'attitudine a sperimentare nuove tecnologie poco diffuse con ottimi risultati.

Per maggiori informazioni si consulti la bibliografia (Gibbons, 1990).

4.5. Può il GPS attirare utenti verso le ferrovie?

La compagnia inglese ScotRail, dopo l'eccellente prova ormai conclusa, ha intenzione di installare sulle proprie locomotive ricevitori GPS e trasmettitori radio per poter fornire agli utenti un servizio più efficiente. Il primo tentativo europeo di rivitalizzare il trasporto su rotaia risale al 1997 quando la compagnia ferroviaria inglese venne privatizzata. Oggi, in Inghilterra, esistono 25 organizzazioni private che si occupano del trasporto merci e passeggeri, ma la linea vera e propria è gestita da una singola compagnia, la Railtrack, che riceve un pedaggio dalle altre. Tutte gli operatori privati per ottenere buoni profitti devono poter fornire servizi competitivi. Per questo la compagnia scozzese, ScotRail, già nel 1995 formò un gruppo di ricerca il cui scopo era quello di progettare un sistema in grado di fornire l'orario di arrivo dei treni, in tempo

reale, in ogni stazione. La tecnologia GPS risultò la più adatta a fornire le informazioni necessarie al modello di previsione adottato.

Tra le alternative prese in considerazione una delle più valide era il TRUST (Train Running Using System TOPS), che confronta la situazione attuale del treno con l'orario memorizzato in un database. Le informazioni riguardanti il treno provengono da sistemi di controllo posti a terra, in punti fissi, lungo la linea. Dal confronto tra i dati relativi al treno in movimento e la tabella degli orari si può sapere se il treno è in orario, in ritardo o in anticipo. Questo sistema permette però di aggiornarsi sulle condizioni del convoglio soltanto in corrispondenze dei punti di controllo, condizione alquanto limitativa.

4.5.1. Il test

La compagnia scozzese è convinta di poter riportare le ferrovie ai primi posti nella classifica dei mezzi di trasporto più utilizzati, fornendo ai passeggeri informazioni utili e facilmente comprensibili. Gli utenti, infatti, devono essere in grado di comprendere le varie opzioni delle diverse tariffe e abbonamenti, di sapere quando arriverà il prossimo treno, di poter capire i sistemi di coincidenze, ecc. Per questo su quattro dei trentasei treni, che operano tra Glasgow ed Edimburgo, sono stati montati dei radio-modem e dei ricevitori GPS a cinque canali con le rispettive antenne. L'installazione è costata 2000 dollari per ogni locomotiva, ma prossimamente la compagnia pensa di poter ridurre l'investimento installando le apparecchiature durante la fase di manutenzione dei treni. Il centro di controllo riceve i dati (di posizione) delle singole unità una volta ogni due minuti attraverso la rete di trasmissione radio nazionale (National Radio Network, NRN). I ricevitori GPS inviano le informazioni a un trasmettitore che opera indipendentemente dai sistemi radio standard usati dai macchinisti in cabina in modo da evitare pericolose interferenze. I dati inviati dal radio-modem, montato a bordo del treno, arrivano nelle stazioni base NRN situate nel centro della Scozia, quindi vengono rinviati al centro di controllo, situato a Glasgow, dove vengono processati da un GIS. Dopo aver convertito latitudine e longitudine in coordinate x, y il mainframe computer divulga le informazioni alle stazioni di Edimburgo, Falkirk e Glasgow. Sebbene questo sistema sia stato pensato per fornire informazioni ai passeggeri, nel progetto pilota i dati

vennero divulgati soltanto ai centri operazionali delle stazioni, in futuro tutte le informazioni compariranno su dei display.

4.5.1.1. Mappa o orario previsto

Il GPS consente di visualizzare sia la posizione di ciascun treno su una mappa, attraverso un piccolo triangolo rosso, sia di visualizzare l'orario di arrivo previsto per ogni convoglio. La rappresentazione attraverso mappe offre, come già ribadito, grandi possibilità soprattutto ai tecnici; i passeggeri, però, difficilmente sono capaci, nota la posizione della locomotiva, di prevedere l'esatto orario di arrivo, per questo la ScotRail ha ritenuto più comodo ed efficiente visualizzare sui monitor delle stazioni non le mappe, ma delle tabelle che riportino il tempo che manca all'ingresso in stazione del treno come illustrato in figura 4. 22.

Figura 4.22 - Monitor con le previsioni dei tempi di attesa dei treni, espresse in minuti

4.5.2. L'orario previsto

Saper calcolare l'orario previsto di arrivo, nota la posizione del treno, è in definitiva lo scopo del progetto. La compagnia scozzese non si accontenta di segnalare ai passeggeri che il convoglio ha lasciato la stazione con cinque minuti di ritardo, ma fornisce indicazioni su quanto tempo manca all'arrivo del treno; durante il tragitto infatti quest'ultimo potrebbe recuperare parte del ritardo o incrementarlo ulteriormente. Saper determinare questo tempo risulta essere abbastanza complicato: il convoglio, infatti, deve rispettare limiti di velocità, indicazioni fornite dai semafori, deve fermarsi nelle stazioni, ecc. Tutti questi vincoli complicano il calcolo. Esistono anche problemi tecnici come l'attraversamento di gallerie: la più lunga, 876 m, impedisce di registrare il segnale GPS nel periodo di percorrenza del tunnel e, poiché il convoglio invia i dati ogni 2 minuti, può accadere che il treno percorra 6-8 miglia senza che nessun segnale

arrivi al centro di controllo. Questo problema potrebbe essere risolto adottando, in futuro, una frequenza di ricezione dei dati più elevata. Questo permetterebbe alla ScotRail di prevedere l'arrivo del treno con un errore di circa 15-20 secondi. La compagnia ha monitorato i treni per una settimana e, a parte alcuni problemi nella trasmissione dei dati, facilmente risolvibili, è riuscita a stimare il tempo mancante all'arrivo in stazione con una precisione di circa 25 secondi. La ScotRail ha quindi in programma di estendere l'utilizzo di questo sistema, che integra GPS e trasmissioni radio, al campo del coordinamento dei trasporti e alla gestione delle infrastrutture ferroviarie. Attualmente mancano i finanziamenti per poter montare ricevitori GPS su tutti i treni e per poter installare monitor in tutte le stazioni, ma appena sarà possibile la compagnia scozzese adotterà il sistema già testato.
Per ulteriori informazioni si veda Campbell (1998) in bibliografia.

4.6. FS ed il progetto europeo Freight FreeWays: treni merci sempre sotto controllo

Il progetto in questione fu uno studio di fattibilitá commissionato da un consorzio di compagnie ferroviarie europee nel 1998. Le prove ebbero esito positivo, quindi il sistema avrebbe dovuto essere completato entro il 1999, ma vennero a mancare le condizioni finanziarie necessarie; attualmente si attende l'approvazione del piano finanziamenti da parte degli enti aderenti, compresa l'Unione Europea.
Per questo motivo vige tuttora una certa riservatezza da parte delle FS, per cui non è stato possibile consultare nessun tipo di documentazione scritta, essendo quella esistente esclusivamente ad uso interno.

Si è potuto però entrare in contatto con la società di ingegneria che ha realizzato il software applicativo e la rete di comunicazioni necessaria all'esperimento: la SRD-ISP di Roma. La stessa società ha anche contribuito allo sviluppo del sito Internet www.freightfreeways.com, basato su un Internet Map Server (IMS) per GIS Autodesk.

4.6.1. Obiettivo

Per rendere il trasporto su ferro competitivo con quello su gomma sarebbe necessario riorganizzare l'intero sistema di nodi e scambi intermodali nonché assegnare delle priorità ai treni merci e definirne percorsi standard.

Con il patrocinio dell'Unione Europea, in collaborazione con i Ministeri dei Trasporti dei paesi membri ed alcune compagnie Ferroviarie europee è nato il progetto "Freight Freeways" volto ad ottimizzare e rendere competitivo il trasporto su rotaia. All'interno del progetto si sono differenziati due studi: uno denominato ScanWays+, per raccordare le ferrovie scandinave (Danesi, Svedesi, Norvegesi e Finlandesi) con il resto d'Europa e l'altro, chiamato North – South Freight Freeways, per collegare le nazioni del Centro-Sud Europa con quelle del Nord. A quest'ultimo studio hanno partecipato le seguenti compagnie ferroviarie: la DB-Netz tedesca, le FS italiane, le SBB CFF FFS svizzere, la BB belga, le BLS svizzere e la Railned olandese.

Prima di tutto sono stati individuati una serie di corridoi preferenziali atti al trasporto merci, lungo i quali si trovano i principali magazzini e nodi di scambio intermodale. Quelli che collegano il Sud Europa al Nord, visibili in figura 4.23 sono:

- Brindisi - Bremerhaven
- Brindisi - Hamburg
- Gioia Tauro - Rotterdam via Domodossola
- Gioia Tauro - Rotterdam via Chiasso
- Wien - Hamburg
- Wien - Rotterdam

Fig. 4.23 – Corridoi merci individuati nell'ambito del progetto North – South Freight Freeways

I corridoi scandinavi sono invece:

- Oslo - Great Belt - Hamburg
- Oslo - Stockholm
- Stockholm - Great Belt - Hamburg

- Narvik - Great Belt - Hamburg
- Helsinki - Great Belt - Hamburg
- Turku - Vainikkala (Russian link)
- Copenhagen - Great Belt - Hamburg
- Frederikshavn - Hamburg

La definizione dei sopraddetti corridoi, unitamente alla conoscenza in tempo reale della posizione di ciascun convoglio, permettono la creazione di accessi facilitati al network ferroviario europeo, il reperimento e l'allocazione ottima di percorsi per i treni merci e la formazione di orari ottimizzati dinamicamente. Tutto ciò contribuisce a velocizzare notevolmente il trasporto su ferro, eliminando le fermate inutili e programmando quelle urgenti in tempo reale.

Con un valido sistema di diffusione dell'informazione a livello dei possessori della domanda di trasporto, si possono gestire in tempo reale, ottimizzandoli, anche i processi di carico, scarico ed immagazzinamento delle merci.

Tutto ciò con l'ausilio delle funzionalità tipicamente fornite da un sistema GIS aggiornato periodicamente con dati dinamici. Le informazioni aggiornate più di frequente riguardano la posizione di ciascun convoglio merci e provengono da ricevitori GPS installati sui treni. I dati relativi allo stato di riempimento dei magazzini e di congestione della rete ferroviaria, raccolti da alcuni centri di controllo strategici dislocati lungo i corridoi, sono invece diffusi ed aggiornati via Internet. Le compagnie ferroviarie possono quindi, con l'ausilio di operatori GIS, calcolare il percorso ottimo all'interno della rete, (in termini di minimizzazione del costo o del tempo di percorrenza) e l'allocazione efficiente delle unità mobili sulle linee. Grazie a queste funzioni si possono effettuare alcune previsioni sull'orario di arrivo a destinazione delle merci e fornire questa informazione alle imprese di spedizioni. Queste ultime operano in due modi: attualmente il più diffuso è quello di affittare convoglio e tracciato ferroviario per il tempo necessario alla spedizione, ma sono ormai molte le imprese che possiedono vagoni propri e affittano una traccia oraria dalle compagnie ferroviarie pertinenti al percorso. Le società di trasporto, pagando un canone, possono seguire via Internet lo stato di avanzamento dei convogli e di conseguenza programmare le operazioni di carico e scarico, il riempimento dei magazzini e la disponibilità di altri mezzi nei nodi

di scambio intermodale. Il grande valore aggiunto della possibilità di monitorare i convogli in tempo reale sta nelle conseguenti decisioni che si possono prendere in merito al destino di merci avariabili, difficilmente stoccabili, pericolose o soggette a urgenza di recapito.

4.6.2. Caratteristiche del sistema

Come già discusso nel precedente 4.2, i sistemi di posizionamento che lavorano accoppiati con una centrale operativa che dirige il traffico, sono formati da tre principali componenti: il ricevitore GPS e gli strumenti di trasmissione di bordo, la rete di comunicazioni tra le unità mobili ed il centro di controllo (GSM, radio o satellitare) ed il software di gestione flotte.

Lo studio di fattibilitá del progetto, in territorio italiano, venne condotto tra la fine del 1998 e l'inizio del 1999, dalla società di ingegneria SRD-ISP di Roma. Le prove vennero effettuate su due motrici; una adibita al trasporto merci sul tragitto Genova-Roma e l'altra, quella di un pendolino ETR-450, sul tratto Milano - Roma - Napoli.

Il ricevitore GPS installato era un 12 canali appositamente realizzato dalla Marconi Communication di Pomezia, in modo da rispondere agli elevatissimi standard di schermatura elettromagnetica dettati dalle FS. La modalità di funzionamento era cinematica assoluta, ovvero non vengono apportate correzioni differenziali. La precisione di posizionamento durante le prove si mantenne intorno ai 60 m il 95 % delle volte.

Accoppiato al ricevitore vi era un controller che permetteva lo scambio di dati con il radiomodem installato sui locomotori. Le coordinate spaziali, la velocità e la direzione di marcia del treno, nonché la visibilità e l'indice di geometria dei satelliti ed eventuali messaggi di errore, venivano registrati in un pacchetto dati e tenuti in memoria RAM dal controller. Ogni 15 minuti il radiomodem inviava alla centrale operativa, situata a Roma, un messaggio SMS via rete cellulare GSM contenente il pacchetto di informazioni. La scelta della rete cellulare GSM venne effettuata in base alle seguenti considerazioni:

- è uno standard a livello europeo;
- fornisce una soddisfacente copertura del territorio nazionale;

- l’estensione del territorio considerato nel progetto é ampia e non consente l’uso di canali radio dedicati in bande convenzionali;
- la frequenza di aggiornamento delle posizioni richiesta è bassa, tale da comportare un numero limitato di chiamate;
- i costi di trasmissione dei messaggi SMS sono attualmente abbastanza contenuti e destinati a diminuire nel tempo.

Alla centrale è installato un numero di modem pari a quello dei treni dotati di ricevitore GPS; ogni unità mobile comunica con un modem del centro di controllo. In questo modo la comunicazione può essere bidirezionale, contrariamente a quanto avviene quando si utilizza un protocollo di polling, che permette di risparmiare sulla componentistica ma comporta trasmissioni unidirezionali.

E’ stato realizzato da SRD-ISP un apposito applicativo che riceve dati dai messaggi SMS e li converte in file leggibili dai calcolatori.

Al Centro di controllo le coordinate GPS, fornite nel sistema WGS84, vengono convertite via software in coordinate UTM nel sistema Gauss Boaga per poter essere visualizzate sulla cartografia italiana.

Una volta convertite, le coordinate vengono processate da un algoritmo di SNAP che ha il compito di riportare la posizione del treno data dal ricevitore GPS sulla linea ferroviaria e di individuare il punto chilometrico corrispondente (KmP). L’algoritmo si basa sul calcolo della minima distanza tra il punto indicato dal ricevitore GPS e la linea ferroviaria e tiene conto dell'impossibilità che il vettore spostamento del treno cambi verso tra un rilevamento ed un altro. La direzione di marcia risulta sempre nota perché associata al ricevitore GPS ed ai codici identificativi dei convogli e dei locomotori.

Esistono alcuni tratti dove i satelliti non sono visibili, per esempio in galleria o in ambiti urbani. Quando la richiesta di aggiornamento dei dati avviene durante questi tratti, il ricevitore GPS fornisce l'ultima misura rilevata, che viene immagazzinata in memoria RAM; alla centrale di controllo il dato viene elaborato tenendo conto della velocità di marcia e delle massime velocità di tratta. Si utilizza cioè un ordinario sistema tacometrico di interpolazione, con il vantaggio di non dover montare nessun apparato

aggiuntivo sulla motrice, dato che la velocità viene rilevata direttamente dal ricevitore GPS ed inserita nel pacchetto di dati inviato alla centrale di controllo.

É stato implementato anche un Internet Map Server che ha il compito di visualizzare le posizioni dei convogli nel World Wide Web in modo da distribuire il servizio capillarmente e a basso costo attraverso un'interfaccia cartografica. La cartografia utilizzata è completamente vettoriale, al fine di snellire il volume di dati da caricare nella pagina Web e quindi diminuire i tempi di refresh. Per questo si è scelto un IMS AutoDesk, che consente la visualizzazione delle carte vettoriali direttamente sulla pagina html, contrariamente ad altri prodotti in commercio, che forniscono solo un'immagine raster della mappa costruita nel GIS presente sul Server. In cambio, per poterla visualizzare, l'utente deve possedere un Plug-in per il browser utilizzato. La differenza è comunque sostanziale: trattando layer vettoriali viene attivata la possibilità di utilizzare funzioni GIS: il database corrispondente a ciascun layer è direttamente accessibile dagli utenti, che possono quindi cercare oggetti, centrare la mappa nel punto voluto o definire il livello di dettaglio e di zoom e aggiungere o togliere layer. Inoltre, ciascun oggetto grafico (punti, linee, poligoni) corrisponde direttamente ad un record del database presente sul server; ciò permette agli utenti di richiedere informazioni relative agli oggetti selezionati con funzioni di "report". Le funzionalità offerte e le caratteristiche del servizio sono tutte visualizzabili alla pagina Web di indirizzo www.freightfreeways.com. Nelle figure 4.24 e 4.25 sono riportate due schermate dell'Internet Map Server del GIS Autodesk. Nel database del centro di controllo sono inseriti ed aggiornati in tempo reale gli orari di ogni treno circolante sui tracciati di tutte le compagnie ferroviarie.

4.6.3. Conclusioni

Di tutto l'ambizioso progetto di localizzazione treni merci in tutta Europa e gestione ottima dei nodi e degli scambi intermodali, attualmente esiste solo una demo ed alcune pagine Web, anche se il centro di controllo a Roma è tuttora perfettamente equipaggiato di hardware e software necessario al monitoraggio di due treni. I test condotti hanno mostrato che le tecnologie servono allo scopo ed il sistema descritto è economicamente realizzabile. Dato però l'elevato numero di attori in gioco, i tempi di attuazione previsti

sono molto lunghi. Si pensi infatti alla moltitudine di operatori coinvolti ed ai cambiamenti in atto nel ruolo delle compagnie ferroviarie europee: da aziende pubbliche passeranno a società private concessionarie e fornitrici di servizi pubblici.
Una volta completati questi processi di cambiamento interni, gli operatori di trasporto merci potranno effettuare la teleprenotazione delle tracce orarie e delle tratte, sfruttando le potenzialità di distribuzione dell'informazione mediante Internet. L'allocazione dei percorsi e delle tratte verrà calcolata in tempo reale mediante ottimizzazione dei percorsi, vincolata alle esigenze del traffico ferroviario quotidiano.

Resta da sottolineare che, una volta che il sistema dovesse entrare a regime, le imprese di spedizioni potrebbero dotare ciascun vagone di ricevitore GPS per poterne seguire le sorti indipendentemente dalla motrice a cui viene attaccato.

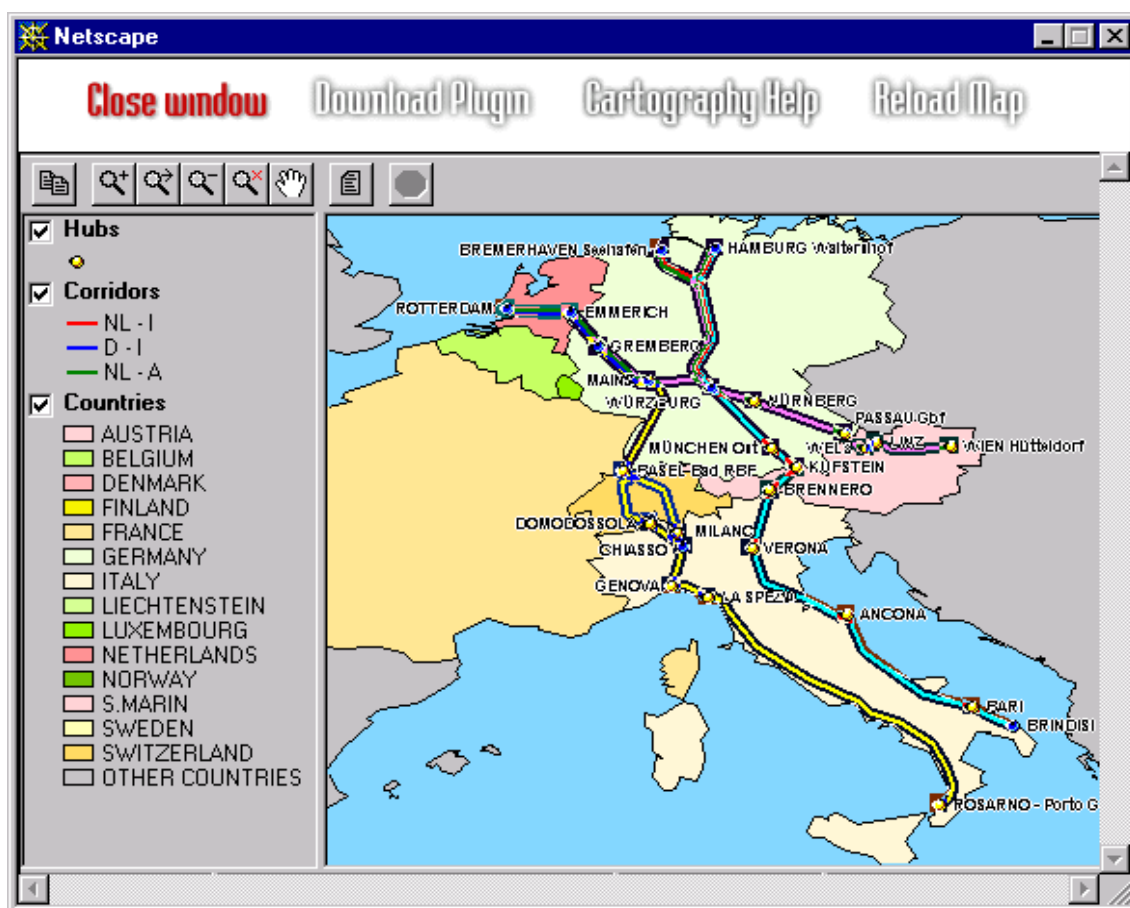



Figura 4.24 - Schermata del Plugin MapGuide di Autodesk, utilizzato per conferire funzionalità GIS alla cartografia visualizzata in Internet

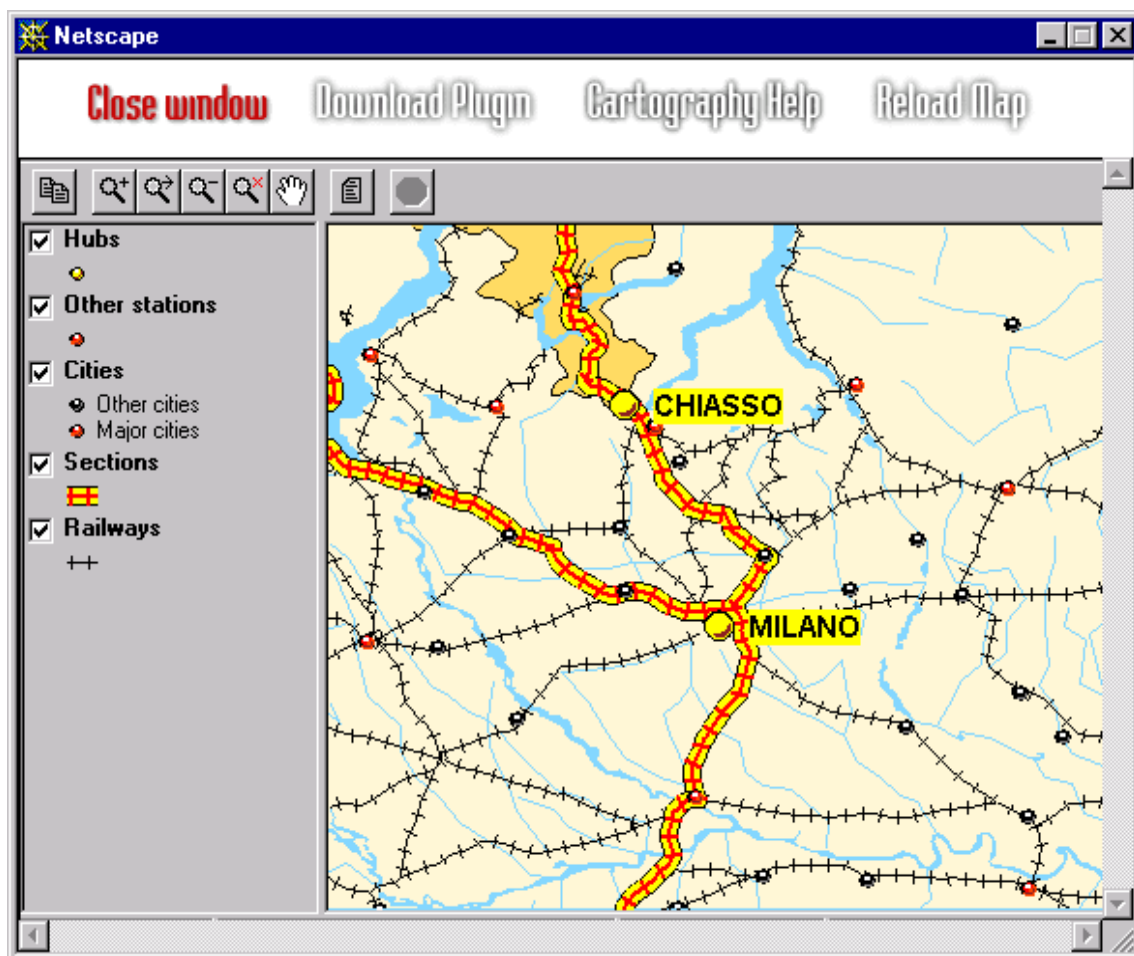



Figura 4.25 - Dettaglio di alcuni corridoi italiani, con città, ferrovie e nodi

Per completezza, giova riportare che la SRD propose anche alcuni modi di sfruttare più a fondo le potenzialità del GIS istallato alla centrale di controllo:

- strumento di ausilio alla gestione dei guasti e delle emergenze;
- strumento di modellizzazione e di verifica dei rischi ambientali dovuti ad eventuali incidenti coinvolgenti sostanze pericolose e di supporto alla definizione dei piani di intervento. In particolare si prestava attenzione alla popolazione coinvolta.

Queste proposte sono in fase di valutazione da parte delle FS.

4.7. Locomotiva 6724, dove sei ?

L'applicazione, eseguita nel 1996 dalla compagnia americana CONRAIL, costituisce un altro interessante esempio di integrazione dei sistemi GIS con tecnologie in grado di

fornire dati in tempo reale; in questo caso, scelto per la sua peculiarità, alla centrale di controllo pervengono le informazioni provenienti, oltre che dal sistema di posizionamento satellitare, anche da alcuni sensori di cui sono dotate le locomotive, per monitorarne le condizioni meccaniche. Il sistema quindi si arricchisce, rispetto ai casi già trattati, di un vero e proprio computer di bordo, in grado di preprocessare le informazioni, prima di trasmetterle a terra.

La flotta che CONRAIL gestisce è composta da 2100 locomotive, delle quali solo la metà effettua servizio di linea (passeggeri o merci) sulle 11000 miglia di binari che si estendono lungo la costa NordEst degli Stati Uniti fino a Boston, per poi piegare verso Est, Detroit, le regioni dei laghi, fino al Quebec. Le altre motrici, che vengono utilizzate per effettuare trasporto merci su tutto il territorio statunitense, viaggiano su linee gestite e possedute da altre compagnie, previa prenotazione e pagamento di una traccia oraria.

La necessità di competere con le altre compagnie operanti sullo stesso territorio (Burlinton Northern, WCE, Amtrack), comporta un continuo confronto con i metodi di gestione, le tecnologie e le strategie economiche da queste adottate, che ha portato CONRAIL a escogitare sistemi per migliorare l'efficienza di allocazione della propria flotta. Una gestione razionale del parco locomotori circolante è la chiave per poter soddisfare la domanda, sempre crescente, di trasporto merci, senza doverne ampliare la numerosità. Si tenga presente infatti che una nuova locomotiva costituisce un investimento superiore al milione di dollari, ha un'aspettativa di vita di 30 anni e necessita in media di 88000 $ all'anno per la manutenzione. Al fine di contenere i costi di rinnovamento e di manutenzione delle motrici e di incrementare l'efficienza d'uso della propria flotta, CONRAIL, nel biennio 1995/1996, ha condotto una serie di studi che hanno portato all'individuazione di una strategia improntata sulla previsione dei guasti e la minimizzazione dei tempi morti. Per raggiungere lo scopo occorre un monitoraggio statistico dettagliato che può avvenire solo tramite un sistema informativo in grado di controllare in tempo reale lo stato della flotta. Le operazioni di allocazione delle tracce orarie, individuazione della grandezza ottima della flotta e programmazione dei servizi, infatti, si avvalgono dei dati statistici (storici e spaziali) riguardanti le prestazioni delle motrici, lo stato di utilizzazione e di sforzo, l'entità dei guasti e delle sofferenze subite e la dispersione spaziale della flotta. In seguito verranno

schematicamente descritte le caratteristiche del sistema informativo realizzato da CONRAIL nel 1997.

4.7.1. Obiettivi

Il miglioramento dell'efficienza d'uso della flotta si traduce nella riduzione dei tempi di attesa (locomotore senza convoglio e convoglio pronto senza motrice), degli spostamenti senza carico, dei guasti imprevisti lungo il percorso e delle uscite a vuoto delle squadre di assistenza. In particolare CONRAIL si proponeva di:

- ridurre del 50 % le spese di manutenzione straordinaria per guasti lungo il percorso;
- diminuire il tempo medio di riparazione dei guasti (Mean Time To Repair) del 50%;
- aumentare del 20% l'uso di ciascuna locomotiva;
- aumentare del 5% la reperibilità dei mezzi;
- individuare il ciclo ottimo di manutenzione ordinaria programmata in modo che coincida con il periodo che mediamente intercorre tra due guasti (Mean Time Between Failures).

Quest'ultimo punto può anche essere estremizzato, eliminando il concetto di manutenzione periodica ed introducendo quello di riparazione solo in base allo stato di usura e di effettivo funzionamento.

Alcuni studi condotti nel 1995 sui sistemi fino allora utilizzati da CONRAIL, per il monitoraggio della flotta, evidenziarono una serie di inefficienze alle quali la compagnia intendeva sopperire per guadagnare in competitività. Il sistema riportava i guasti solo dopo che avvenivano, tramite una serie di passaggi di informazioni orali o manuali, poco formalizzati, che comportavano spesso la perdita od il travisamento di molti dati. Il risultato era una classificazione sommaria dei guasti, poco riferibile alle circostanze di accadimento (luogo e tempo) ed una percentuale estremamente fastidiosa di casi in cui l'uscita di una squadra di soccorso risultava ingiustificata (44%). Questo comportava spese enormi per la compagnia dato che, una volta inoltrata la richiesta di soccorso da parte del macchinista, giustificata da un generico messaggio di mancato funzionamento (*dead*), la politica di riparazione comportava l'attivazione di una dispendiosa procedura di check-up complessivo. Questa combinazione di informazioni inadeguate, con la mancanza assoluta di indicazioni preventive al verificarsi dell'avaria,

spinse ad un rinnovamento del sistema di monitoraggio dei guasti, improntato sulla previsione e risoluzione del malfunzionamento, prima che i suoi effetti divengano irreparabili.

La tecnologia individuata per supportare il cambiamento delle politiche di manutenzione prevede dei sensori di bordo che monitorano in continuo le condizioni meccaniche delle motrici. Tali sensori vengono distribuiti nei sistemi di trazione, di alimentazione e di frenaggio e sono collegati ad un microprocessore di bordo. Tutte le informazioni da questi fornite, dopo il preprocessamento ad opera del computer di bordo, vengono inviate, insieme alla posizione data da un ricevitore GPS, ad una centrale di controllo, dove un equipe di specialisti può analizzarle ed interpretarle. Gli operatori vengono quindi messi in grado di prevedere le condizioni avverse e di reagire in tempo reale. La presentazione grafica della distribuzione spaziale della flotta alla centrale di controllo, viene gestita in ambiente GIS che, oltre a fornire un quadro generale prima non disponibile, consente anche di effettuare analisi spaziali e di rete. In questo modo vengono effettuate riparazioni mirate, riducendo il parco locomotori in manutenzione periodica e risparmiando sugli investimenti. Inoltre, l'implementazione di un sistema di comunicazione tra i computer di bordo ed il server della centrale operativa, apre le porte a tutte le attività che richiedono un controllo in tempo reale della posizione dei convogli. Molte di queste applicazioni sono state illustrate nei paragrafi precedenti, tuttavia è opportuno rilevare che l'informazione aggiuntiva, sullo stato meccanico dei veicoli, può migliorare notevolmente il processo decisionale di allocazione della flotta.

4.7.2. Strategie di realizzazione

Una volta definiti gli obiettivi, la compagnia stabilì quali dovevano essere le caratteristiche tecniche del nuovo sistema informativo e fece un'indagine per verificare se sul mercato esisteva un prodotto in grado di rispondere alle specifiche di progetto. I risultati portarono a constatare l'impossibilità di utilizzare un pacchetto di prodotti commerciali già esistente da istallare su tutte le motrici della flotta. Il parco locomotive della CONRAIL, infatti, è costituito da differenti modelli di diverse case produttrici, alcuni dei quali equipaggiati sin dalla nascita con sensori, mentre altri ne sono

assolutamente privi e non predisposti. La necessità di installare un sistema compatibile con tutti i tipi di veicoli attualmente in uso e con quelli futuri, unitamente alle esigenze di configurabilità, adattabilità, modularità ed apertura del sistema, condussero alla convinzione che un unico prodotto commerciale non poteva servire allo scopo.

Il sistema di monitoraggio delle condizioni delle locomotive (LCMS Locomotive Condition Monitoring System) venne quindi implementato ex novo, pur facendo uso, per le singole componenti, di software commerciali, in particolare quelli certificati dall'AAR (American Association of Railways). Grazie ad una precisa strategia di CONRAIL, il sistema realizzato è basato su un'architettura modulare, in modo da poter installare componenti prodotte da diversi costruttori, evitando quindi la dipendenza della compagnia da un unico fornitore. I vantaggi derivanti da questo tipo di architettura sono comunque molteplici: le prestazioni possono essere valutate, sia in complesso, sia per ogni singolo sottosistema, sono garantite l'espandibilità e la rinnovabilità del sistema e vengono evitati i costi di riscrittura dei maggiori codici.

L'intero sistema, visibile in figura 4.26, può essere diviso in tre sottosistemi funzionali: il computer di bordo, che raccoglie le informazioni dei sensori, il sistema informativo geografico della centrale di controllo, che organizza le informazioni in un database e offre l'interfaccia utente e la rete di comunicazioni che funge da collegamento tra i primi due.

4.7.2.1. Computer di bordo (OBC)

L'elaboratore di bordo controlla tutte le informazioni riguardanti le condizioni tecniche della locomotiva, provenienti dai sensori e dai sottosistemi di diagnosi interna, e la posizione geografica, fornitagli da un ricevitore GPS. I dati vengono immagazzinati in una memoria flash ed inviati alla centrale di controllo ogni determinato intervallo di tempo, ma anche ogni qualvolta venga fatta specifica richiesta da parte degli operatori ed il computer abbia riscontrato un'anomalia o una emergenza.

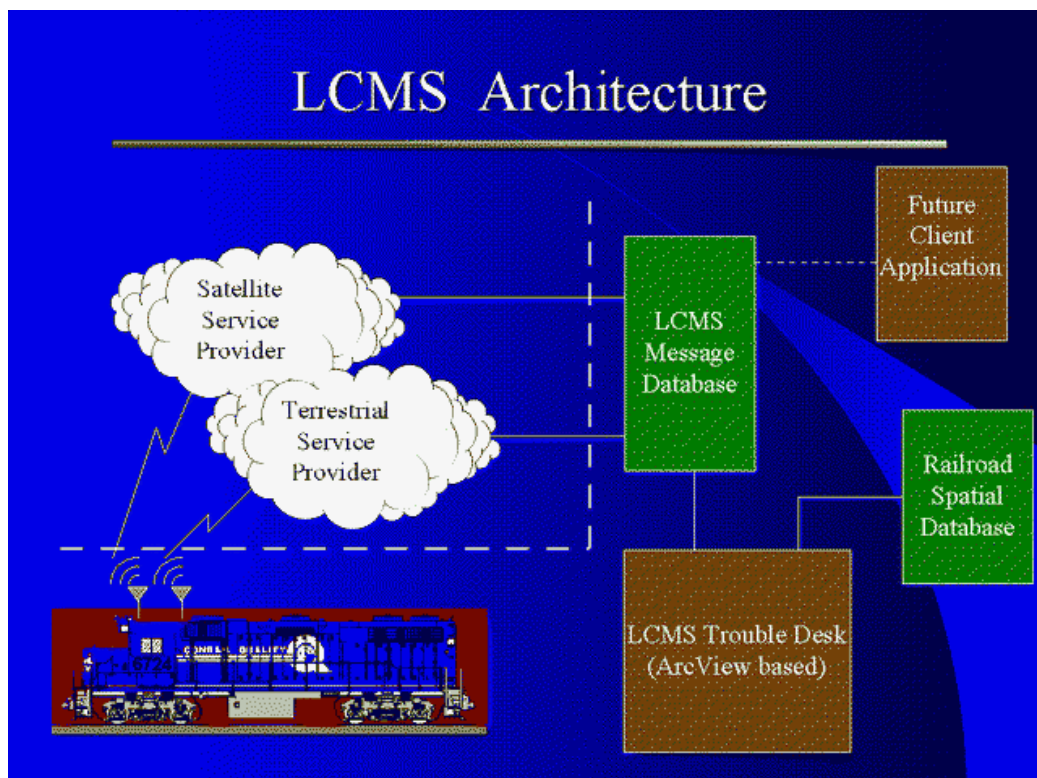



Figura 4.26- Architettura del Sistema di Monitoraggio delle Condizioni delle Locomotive LCMS.

Prima di essere inviati alcuni dati hanno bisogno di essere preprocessati: innanzitutto l'OBC (On Board Computer) associa ai valori dei parametri forniti dai sensori, il codice del sintomo corrispondente. In secondo luogo l'autodiagnosi è coadiuvata da un minisistema esperto in grado di determinare quanti e quali sensori si devono utilizzare per valutare lo stato di ciascun sottosistema meccanico. In particolare vengono monitorati in continuo i dati relativi allo stato:

- del motore diesel delle motrici e relativo sistema di supporto (combustione, carburante, lubrificazione, raffreddamento);
- dei controlli elettrici e sistema di propulsione;
- di eccitazione (velocità, sistema di frenaggio, potenza erogata);
- della posizione geografica (espressa in coordinate geografiche e chilometriche progressive lungo la linea).

I componenti hardware presenti comprendono: i sensori, sia analogici che digitali, il ricevitore GPS, che comunica tramite porta seriale con l'OBC, il processore di bordo,

con le relative schede di memoria flash ed un sistema ricetrasmittente (radiomodem) dotato di antenne appropriate.

4.7.2.2.Centrale di controllo

Data la natura prevalentemente spaziale dei dati che vengono trattati, il software installato alla centrale operativa è il GIS ArcView, che funge da interfaccia grafica e da strumento di integrazione verticale delle informazioni provenienti da tutti i sottosistemi. In particolare è in grado di interagire con:

- il sistema di comunicazioni, tramite il "data management subsystem", che riceve i messaggi dalle locomotive, li registra nel database relazionale e li notifica agli operatori con modalità diversa a secondo della priorità associata. Questo modulo si occupa anche delle conversioni tra sistemi di riferimento diversi.
- Il database relazionale che incorpora anche tutti i dati spaziali necessari, dall'inquadramento territoriale generale (confini amministrativi, rete stradale) alle linee ferroviarie distinte per ente proprietario, fino alle informazioni aziendali specifiche di CONRAIL (depositi, posti di assistenza, magazzini, facilities).
- Un sistema esperto in grado di aiutare l'operatore a valutare le condizioni meccaniche delle locomotive e suggerire le modalità di intervento per risolvere le anomalie riscontrate.

La posizione delle locomotive viene aggiornata ogni qualvolta avviene la ricezione di un messaggio e viene rappresentata sulle mappe tramite icone, variabili a seconda dello stato di salute meccanica. Quando si riscontra un'anomalia, l'operatore è avvertito da un allarme sonoro, accompagnato da un messaggio contenente il codice del sintomo ed una descrizione a parole del problema. Tramite la consultazione del sistema esperto e l'uso delle funzioni GIS, che permettono di individuare rapidamente le facilities più vicine, l'operatore può prendere le decisioni appropriate in tempi molto contenuti.

4.7.2.3. Sistema di comunicazione treno – centrale

Le informazioni raccolte e preprocessate dal computer di bordo, vanno convogliate alla centrale di controllo attraverso un sistema di comunicazioni in grado di supportare la trasmissione di: messaggi di emergenza ad alta priorità, messaggi vocali e rapporti

operativi, di richieste periodiche o saltuarie di pacchetti di dati ordinari o speciali, da parte del personale della centrale operativa.

Questa applicazione presenta una peculiarità rispetto a quelle precedentemente analizzate: a causa della complessità dei dati trasmessi dai sensori, che si traduce in quantità, e dell'estensione del territorio da coprire, nessuno dei sistemi più volte citati (GSM, radio, satellite, trunking) poteva assolvere pienamente il compito di mantenere una comunicazione continua e bidirezionale. Venne quindi realizzato un pacchetto indipendente in grado di integrare diversi canali di trasmissione: telefonia GSM, pacchetti radio digitali (DPD) e connessione satellitare. Il modulo, chiamato API (Application Programming Interface), si occupa direttamente di convertire i dati ricevuti dall'OBC o dalla centrale, nel formato relativo ai diversi sistemi di trasmissione, in modo che nessun altra componente si debba preoccupare del canale prescelto. Le informazioni vengono quindi trasmesse a mezzo del sistema più conveniente, non solo in base alla posizione geografica della locomotiva e alle condizioni meteorologiche, ma anche alla lunghezza, alla priorità ed al tipo di messaggio. A questo scopo sono stati codificati diverse tipologie di messaggi, riassunti in tabella 2. La situazione normale è caratterizzata dal periodico invio di *Status messages* dall'OBC alla centrale di controllo (CC), occasionalmente però l'operatore può richiedere rapporti approfonditi per formulare diagnosi più accurate (*Snapshot, Buffer request*) o l'OBC può notificare l'imminenza di un *guasto (Alert, Alarm message*).

4.7.3.Conclusioni

Come si può notare, il sistema è del tutto simile a quelli utilizzati da altre compagnie ferroviarie e descritti nel paragrafi precedenti, con la sostanziale differenza che a bordo non è presente solo un ricevitore GPS, ma un vero e proprio computer con compiti di elaborazione dei dati provenienti dai sensori ed eventualmente in grado di interagire con il macchinista. Questo è un lampante esempio di come si possano sfruttare i sistemi di comunicazioni treno-terra per molti tipi di applicazioni utili alle compagnie ferroviarie. La stessa CONRAIL, che ha installato il nuovo LCMS su tutte le 2100 locomotive della sua flotta tra il 1996 ed il 1999, conta di poter aggiungere diversi applicativi al sistema al fine di migliorare il potere decisionale a bordo. In questo senso sta studiando una

serie di nuovi sensori e sta tentando di conferire più funzionalità al software di gestione dinamica dei parametri di cui è dotato l'OBC. Inoltre è in fase di studio un sistema simile ad ARES, della Burlington Northern, per gestire l'allocazione della flotta in tempo reale ed informare l'utenza sui tempi di consegna.
Per ulteriori informazioni si veda Crane e Eilenberg, 1997 in bibliografia.

Tipo	**Da**	**A**	**Richiedente**	**Contenuti**
Status message	OBC	CC	-	Posizione e stato sensori, inviati a frequenza fissa, ma variabile per ogni locomotiva.
Snapshot Request	CC	OBC	CC	Lettura istantanea di tutti i parametri di stato corrispondenti ai sottosistemi selezionati.
Snapshot Response	OBC	CC	CC	Valori registrati dai sensori corrispondenti ai sottosistemi selezionati nell'ultima rilevazione effettuata.
Buffer request	CC	OBC	CC	Lettura dei parametri di stato dei sottosistemi selezionati, negli ultimi 10 minuti precedenti ad un particolare evento.
Buffer response	OBC	CC	CC	Serie di valori assunti dai sensori corrispondenti ai sottosistemi selezionati, negli ultimi 10 minuti precedenti ad un particolare evento.
Alert message	OBC	CC	-	Avvisa che uno o più parametri sono usciti dal range dei valori ammissibili.
Alarm message	OBC	CC	-	Tipologia di un guasto ormai imminente. Può attivare le procedure di soccorso del caso.

Tabella 2 – Tipologie di messaggi tra locomotive e centrale di controllo

5

L'ATTUALE STRUTTURA INFORMATIVA DELLE FNM

Il progetto che presentiamo corrisponde all'applicazione di un sistema AVL alla linea Milano-Como per monitorare e gestire la flotta di treni delle FNM. Per comprendere i vantaggi che le FNM otterrebbero nell'adottare questo sistema di monitoraggio delle flotte dobbiamo prima presentare l'attuale sistema utilizzato dalla compagnia.

In questo capitolo presentiamo, nel primo paragrafo, la topologia dell'intera rete delle FNM. Nel secondo paragrafo descriviamo il sistema di controllo dei treni adottato delle FNM sulla tratta Milano-Como che comprende il metodo di posizionamento, distanziamento e segnalamento e nel terzo illustriamo il sistema di telecomunicazioni terra-treno e viceversa. Le caratteristiche specifiche della tratta Milano-Como sono descritte nel quarto e ultimo paragrafo.

5.1. Le ferrovie Nord Milano

Le motivazioni che spinsero i progettisti alla costruzione delle Ferrovie Nord e successivamente alla loro espansione consistevano nell'esigenza di trasportare a Milano e nelle zone industriali della provincie di Como e Varese masse di operai, nonché la possibilità di collegare Milano con le località turistiche dei laghi e delle Prealpi lombarde. Le FNM, amministrate dalla Regione Lombardia, collegano, infatti, il capoluogo lombardo alla provincie di Varese, Como, Novara, Lecco e all'aeroporto di Malpensa 2000, come mostrato in figura 5.1.

Figura 5.1 - La rete delle FNM

Nel 1999 lo Stato e la Regione Lombardia hanno siglato un accordo di programma-quadro di Accessibilità a Malpensa, che prevede finanziamenti per 5370 miliardi di lire per il piano complessivo dei trasporti imperniati sul nuovo aeroporto. Di questi, 3870 sono destinati al servizio ferroviario regionale e 1718 alle FNM.

Recentemente altri fattori, primi fra i quali l'inquinamento e la congestione del traffico stradale, hanno portato alla consapevolezza dell'importanza del mezzo di trasporto collettivo e, in particolare, delle ferrovie.

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della provincia di Milano prevede di attuare trasformazioni, che interessano il nodo ferroviario, in modo da attirare l'utente verso un servizio per il trasporto locale. Per gli spostamenti che interessano Milano e i comuni della provincia sono previsti il potenziamento delle linee esistenti, il raddoppio delle tratte più sature, l'eliminazione dei passaggi a livello, la creazione di nuove stazioni e il miglioramento delle connessioni con la rete metropolitana. A questo proposito ci pare interessante ricordare che la stazione di Milano Bovisa risulta essere il capolinea del Passante Ferroviario. Questa linea sotterranea collega le linee provenienti da Nord Ovest delle Ferrovie dello Stato (FS) e delle FNM con quelle provenienti da Sud Est (FS). Il collegamento permette un notevole snellimento del traffico, grazie ad una maggior penetrazione nella città delle linee locali.

Le FNM hanno preso iniziative per ripristinare e ammodernare la linea ponendo particolare attenzione alla rapidità e alla qualità del servizio. Pertanto nel triennio 1999-2002 saranno spesi 800 miliardi di lire in grandi infrastrutture tra cui la posa di nuovi binari e l'acquisto di nuovo materiale rotabile: i famosi TAF (Treni Alta Frequentazione) in sostituzione di treni che viaggiano da quasi 40 anni. Nel 1997 l'età media del materiale rotabile era di 33,50 anni (Mazzatti,1998).

Il punto nevralgico dell'intera rete è il nodo di Saronno dove transita il 70% del traffico a Nord di Milano con un movimento giornaliero di oltre 200 treni al giorno. Proprio a Saronno è situata la centrale operativa, chiamata Posto Centrale di Movimento (PCM), dove attraverso dei monitor ed un quadro sinottico, è possibile controllare il movimento di tutti i treni ed avere una ripetizione ottica di ciò che avviene in rete.

Il servizio offerto dalla compagnia è prevalentemente dedicato al trasporto di passeggeri pendolari, circa 42 milioni all'anno nel 1997, con un traffico, sull'intera rete, di circa 10,000 treni al mese (Mazzatti,1998).

Nelle figure 5.2 e 5.3 riportiamo i risultati di indagini statistiche sull'età media del materiale rotabile e sui ritardi disponibili sul siti Internet delle FNM..

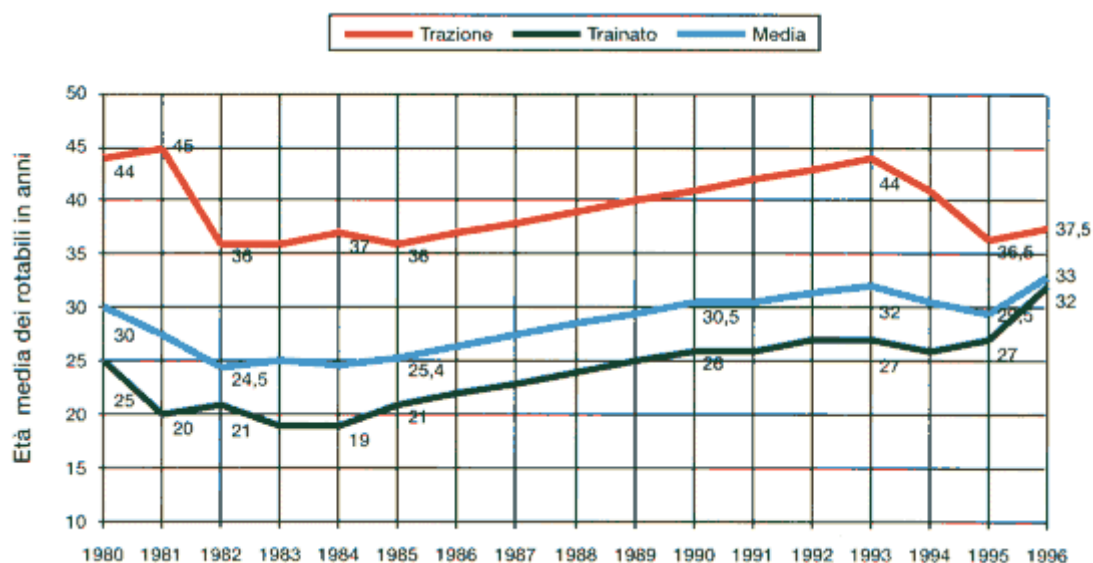



Figura 5.2 – Il grafico riporta l'età media del materiale rotabile anno per anno a partire dal 1980 fino al 1996

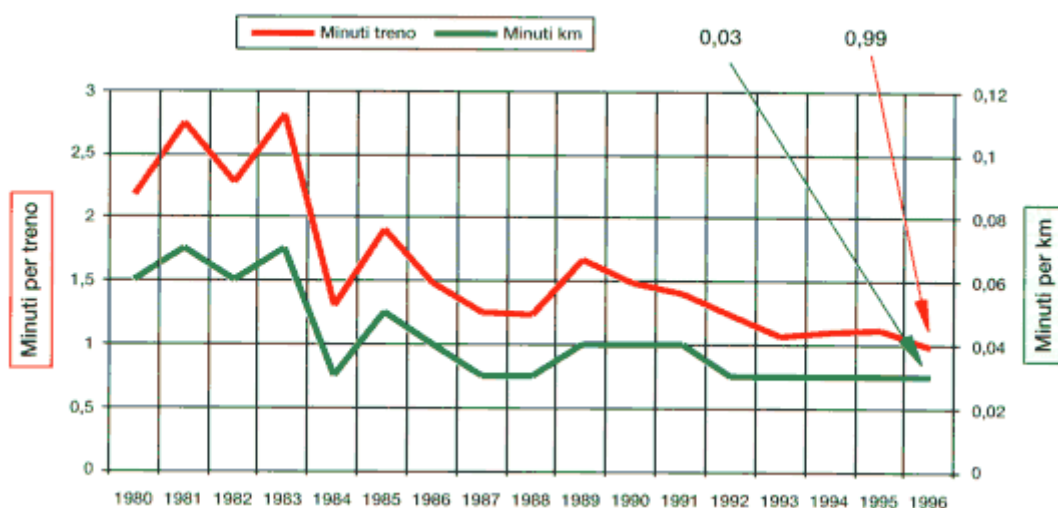



Figura 5.3 – Il grafico riporta il ritardo medio per treno e per chilometro anno per anno

I prossimi paragrafi trattano del sistema di distanziamento, chiamato *blocco automatico a correnti codificate,* dei sistemi di posizionamento e segnalamento dei treni e delle tecnologie che permettono la comunicazione tra il PCM e gli agenti di treno o di stazione.

5.2. Il sistema di controllo dei treni sulla tratta Milano-Como

La tecnica della circolazione su rotaia si pone come obiettivo lo studio e la determinazione dei mezzi e delle norme atti a far sì che tutti i treni circolino regolarmente sui binari che gli sono stati assegnati senza che incontrino sul medesimo percorso altri convogli fermi o in movimento. Il sistema di esercizio di una ferrovia ha lo scopo di assicurare sicurezza e regolarità del servizio per questo il sistema ferroviario spesso ha dimostrato una certa cautela di fronte alle innovazioni tecnologiche prodotte dalla scienza (Liberatore, 1994).

Per quanto riguarda la sicurezza dell'esercizio ferroviario uno dei problemi più importanti è il **distanziamento** dei treni in linea. Livelli di sicurezza elevati vengono ottenuti dalle FNM con un sistema di distanziamento che comporta la suddivisione della linea in sezioni di **blocco automatico (BA)**. In questo modo la circolazione dei convogli si svolge consentendo ad un solo treno per volta di occupare una sezione.

Ogni sezione di blocco è delimitata da **segnali** ed in particolare inizia con un posto di blocco (PB) in corrispondenza del quale tutte le apparecchiature trovano posto in appositi armadi. Il segnale di PB è rosso o verde a seconda che la sezione corrispondente sia occupata o libera.

Il posto di blocco può coincidere con una stazione, ma di norma, l'ambito della stazione non costituisce una sezione di blocco. Generalmente i blocchi a monte e a valle di una stazione sono messi in relazione tra loro per mezzo dell'impianto di sicurezza della stazione stessa. La figura 5.4 rappresenta schematicamente un tratto di linea suddiviso in sezioni di blocco ubicate a monte e a valle della stazione. Si può vedere che ogni sezione di blocco è protetta da un segnale di blocco (SB) preceduto dal relativo avviso (SA).

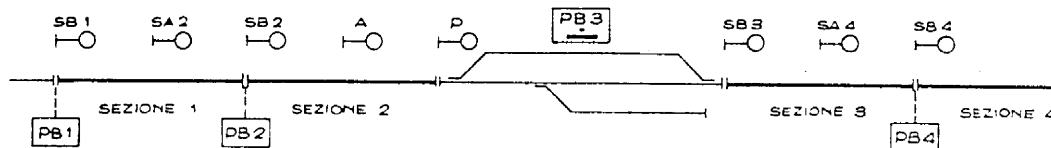



Figura 5.4 - Tratto di linea suddiviso in sezioni di blocco

Quest'ultimo ha lo scopo di avvisare il personale di bordo sullo stato di occupazione del prossimo blocco. Il segnale di partenza di stazione (SB3) ha funzione e significato di segnale di blocco.Quando la lunghezza delle sezioni di blocco è inferiore a 1500 m il segnale di avviso isolato viene accoppiato al segnale di blocco della sezione precedente. In questo caso il segnale di blocco può assumere tre aspetti anziché due: rosso, giallo o verde.

L'informazione sull'occupazione della sezione di blocco arriva attraverso l'eccitazione di un relè di binario. In pratica la protezione del treno, che si trova in una determinata sezione, viene ottenuta mediante la disposizione automatica del segnale di blocco a via impedita (v.i.) in modo da segnalare l'occupazione della sezione di blocco. Il sistema non permette la concessione di un secondo consenso a via libera (v.l.) fino a quando il treno non sia uscito dalla sezione.

L'informazione dello stato di occupazione di una sezione di blocco viene trasmessa alla centrale attraverso un sistema di trasmissione che utilizza una o due coppie del cavo telegrafonico che corre parallelamente ai binari. Tale sistema utilizza diversi canali, con frequenze dell'ordine dei 500 Hz, ed associa ad ogni frequenza una informazione proveniente da ciascun trasmettitore che, costituito essenzialmente da un oscillatore, viene alimentato direttamente dal PCM. Ad ogni trasmettitore in campagna viene associato un ricevitore alla centrale, inoltre sulla stessa coppia del cavo possono essere allacciati numerosi trasmettitori in campagna senza alcun pericolo di interferenza dei segnali.

Una importante miglioria si ottiene alimentando ogni blocco con una corrente alternata a 50 Hz codificata, cioè interrotta periodicamente ad intervalli uguali tramite uno speciale relè elettronico. Le correnti vengono codificate con quattro codici (75-120-

180-270). La corrispondenza tra l'informazione di codice e l'aspetto che assume il segnale è quella indicata nella Tabella1.

CODICE RICEVUTO	ASPETTO SEGNALI B.A.
Nessun codice	Rosso
Codice 75	Giallo
Codice 120	Giallo - verde
Codice 180	Giallo lampeggiante o verde
Codice 270	Verde

Tabella 5.1 Corrispondenza tra codice ricevuto e aspetto del segnale.

La codificazione della corrente immessa nei circuiti di binario consente:

- di inviare anche sui locomotori le informazioni connesse con i vari codici: *ripetizione dei segnali in macchina,* illustrati più avanti.
- di garantire un elevato livello di sicurezza rispetto ad eventuali indebite alimentazioni dei circuiti di binario, essendo estremamente improbabile che la corrente disturbante sia pure codificata.
- di trasmettere sul binario stesso, dall'estremo di alimentazione a quello di ricezione, le informazioni corrispondenti ai quattro possibili codici più l'informazione di assenza di codice.

Le informazioni trasmesse lungo i binari per mezzo delle correnti codificate possono essere utilizzate dai mezzi di trazione purché questi siano dotati di una apposita apparecchiatura. Quest'ultima comprende essenzialmente (figura. 5.5):

- complesso di captazione e decodificazione;
- complesso logico di elaborazione;
- complesso pneumatico,
- pulsantiera e ripetitori ottici ed acustici nelle due cabine;
- complesso di alimentazione.

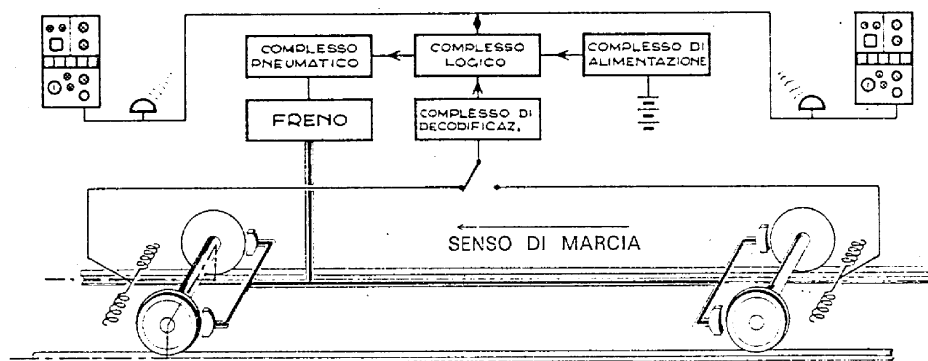



Figura 5.5 - Apparecchiatura per la lettura delle correnti codificate

Con il sistema di BA la **posizione** di ciascuna unità mobile viene associata ad un tratto di binari lungo anche 2 Km, ma all'interno di tale tratta non esistono informazioni sulla posizione del convoglio.

5.3. Sistemi di comunicazione treno-terra e terra–treno delle FNM

La comunicazione tra la centrale operativa ed i posti periferici per la trasmissione dei comandi a distanza viene assicurata da un semplice doppino telefonico a cui sono collegati i terminali multifunzione, presenti nelle stazioni, ed i telefoni a cassa stagna dislocati lungo i binari. Tali telefoni sono installati nelle stazioni, alle punte scambi, sui segnali di protezione, nei caselli ed ai passaggi a livello automatici. Il circuito è costituito da una linea telefonica a chiamata selettiva da parte del PCM e con annuncio a voce da parte degli altri utenti della linea. Il Dirigente di Centrale Operativa (DC) dispone anche di un circuito per inviare gli annunci al pubblico nelle stazioni e nelle fermate sotto la sua giurisdizione.
Per quanto riguarda le comunicazioni **terra-treno**, sono tuttora in vigore delle particolari procedure. Ad esempio, nel caso in cui il DCO debba dare delle disposizioni al capotreno egli deve prima fermare il convoglio ponendo il prossimo segnale in posizione di via impedita. In corrispondenza del segnale di protezione, a cui il treno si è fermato, si accende una T luminosa sul telefono a cassa stagna e si aziona una suoneria

a forte timbro. A questo punto la chiamata si disattiva con il sollevamento del microtelefono oppure, in mancanza di risposta, dopo cinque minuti.

Per quanto riguarda invece la comunicazione **treno-terra,** in caso di arresto del convoglio, il capotreno deve mettersi in contatto telefonico entro cinque minuti dalla fermata. Se non risulta possibile utilizzare i telefoni dislocati lungo la linea il capotreno è costretto ad usare altri posti telefonici, anche pubblici, ubicati nelle vicinanze.
In caso di guasto al materiale rotabile il personale di bordo effettua i primi tentativi di riparazione. Il guasto può dare luogo a un disservizio (per disservizio si intende una qualsiasi perturbazione nella circolazione dei treni che provochi ritardi superiori ai cinque minuti). Nel caso il guasto venga risolto dall'intervento del personale o che non provochi disservizio, il treno continua la corsa e a fine servizio viene inviato in officina per le opportune verifiche e le eventuali riparazioni. Nel caso, invece, di disservizio, se il personale riesce a far continuare la corsa in sicurezza il treno prosegue effettuando un servizio degradato, altrimenti viene richiesto il soccorso tecnico. La modalità di richiesta di soccorso é regolamentata: il capotreno deve avvisare la stazione più vicina attraverso una delle postazioni fisse di telefoni di soccorso, situate lungo la linea.

Nel corso del 1999 il personale viaggiante delle FNM è stato dotato di un telefono radiomobile GSM. La dirigenza della compagnia ha stipulato con Telecom Italia Mobile un contratto di rete virtuale in cui si prevede che ogni cellulare possa mettersi in comunicazione solo con gli altri telefoni dell'azienda. Tuttavia l'uso di tale apparecchio non é contemplato dalla normativa vigente per una tale richiesta. Inoltre la chiamata del capotreno dal telefono di servizio viene registrata e protocollata. Naturalmente nella prassi comune il cellulare viene usato per una migliore consultazione e un maggiore scambio di informazioni, ma sempre in maniera informale: la richiesta di soccorso deve essere poi inoltrata (e quindi formalizzata) da un posto telefonico fisso.
Si prevede che in futuro la normativa consentirà l'uso del cellulare per le comunicazioni di soccorso, riconoscendo il grado di sicurezza e protezione dalle interferenze raggiunto dalle attuali reti locali di radiotelefonia .

Per la comunicazione terra–treno il PCM può trasmettere, mediante il servizio SMS (Short Message Service), una serie di messaggi predefiniti che il capotreno potrà leggere sul display del proprio apparecchio. Viceversa, la connessione tra il personale

viaggiante e la centrale operativa avviene tramite il servizio di fonia vocale in modo che il macchinista o il capotreno non debbano digitare tasti durante lo svolgimento delle loro abituali mansioni. L'utilizzo dei telefoni cellulari ha portato un notevole miglioramento nei sistemi di comunicazione delle FNM anche se non ha completamente cancellato l'uso dei vecchi metodi e sicuramente ha colmato almeno un paio di grosse lacune. Infatti, alla partenza di ogni convoglio il capotreno effettua una operazione chiamata *battesimo del treno* che consiste nel comunicare al PCM, tramite messaggio, il numero identificativo del treno su cui viaggia. A questo punto il DCO associa un codice al treno. Infine, in caso di emergenza, il personale di terra può mettersi immediatamente in contatto con quello di bordo, e viceversa, utilizzando come numero di telefono il codice identificativo precedentemente associato al convoglio durante il battesimo.

Una volta richiesto il soccorso, anche se il guasto viene nel frattempo risolto dal personale di bordo non é più possibile far riprendere la marcia al convoglio prima dell'arrivo del mezzo di soccorso. Questo provvedimento é adottato per ragioni di sicurezza, in quanto i mezzi di soccorso si potrebbero già trovare in marcia verso la posizione in cui si é verificato il guasto. Si vogliono così evitare possibili incidenti ed una riattivazione non in sicurezza della circolazione. Purtroppo non sono disponibili dati che permettano di analizzare l'incidenza dell'impossibilità di arrestare il soccorso in caso di sopravvenuta risoluzione del guasto.

L'intervento di una squadra di tecnici e/o di un locomotore di soccorso dipende dal tipo di guasto e dalla momentanea disponibilità dei locomotori, nonché dalla loro localizzazione rispetto alla posizione del guasto. In generale nel caso di un guasto alla trazione é fondamentale l'intervento di un locomotore di soccorso (eventualmente anche di una squadra di tecnici, ma la priorità di liberare la via comporta la presenza di un locomotore per tutelarsi dal fallimento degli interventi di riparazione).

La richiesta di soccorso viene inoltrata alla stazione più vicina al punto di localizzazione del guasto. La gestione dell'intervento diventa poi di competenza delle due stazioni tra cui é compreso il guasto, e in particolare degli organi da cui dipende la loro direzione, che sono generalmente i capistazione. Questi si consultano sulle decisioni da prendere in base alle tracce orarie dell'orario ufficiale e alla propria

esperienza, non essendo codificata nessuna metodologia operativa per la gestione della scelta e della marcia del locomotore.

Gli obiettivi dell'intervento dipendono dalla localizzazione del guasto e dal particolare momento in cui si verifica. Per esempio, ad un guasto nel Passante viene sempre data massima priorità per i potenziali consistenti ritardi ai treni delle FNM e soprattutto delle Ferrovie dello Stato, che provocherebbero pesanti disagi ai passeggeri di più linee. Viene concessa precedenza di intervento anche per i disservizi dei treni da e per l'aeroporto di Malpensa, per l'importanza del collegamento intermodale. Quindi non sempre l'obiettivo gestionale é quello della minimizzazione dei ritardi complessivi per i passeggeri trasportati, non essendone neanche disponibile un immediato indicatore. I criteri di intervento "a priorità", come pure il posizionamento dei locomotori, tengono sempre comunque conto di tale obiettivo. Il PCM di Saronno può dare solo un parere consultivo, cioè un consiglio la cui osservanza, da parte dei capistazione, non é obbligatoria. Sono quindi i capistazione a scegliere quale dei locomotori di soccorso debba intervenire, sentita la loro disponibilità e verificata dalla stazione di ricovero la possibilità di movimento nella particolare situazione di circolazione.

5.4. Dominio geografico

La tratta di nostro interesse è lunga 46 Km e si snoda dalla stazione Milano Nord Cadorna, situata nel centro del capoluogo lombardo, fino alla stazione Como Lago sulle sponde del Lario (figura 5.6). Le stazioni intermedie sono 22, e la più importante è Saronno, dove si incontrano le tre linee che portano rispettivamente a Varese, Novara e Malpensa 2000 (vedi figura5.7).

Il tratto Milano Cadorna–Milano Bovisa è a doppio binario e per qualche chilometro corre sotto il livello stradale. Da Bovisa a Saronno la linea è stata quadruplicata, mentre da Saronno a Como Lago è rimasta a doppio binario fatta eccezione per il tratto a singolo binario: Como Camerlata-Como Lago. Sui binari pari circolano i treni da Como a Milano mentre su quelli dispari circolano i treni in direzione Milano.

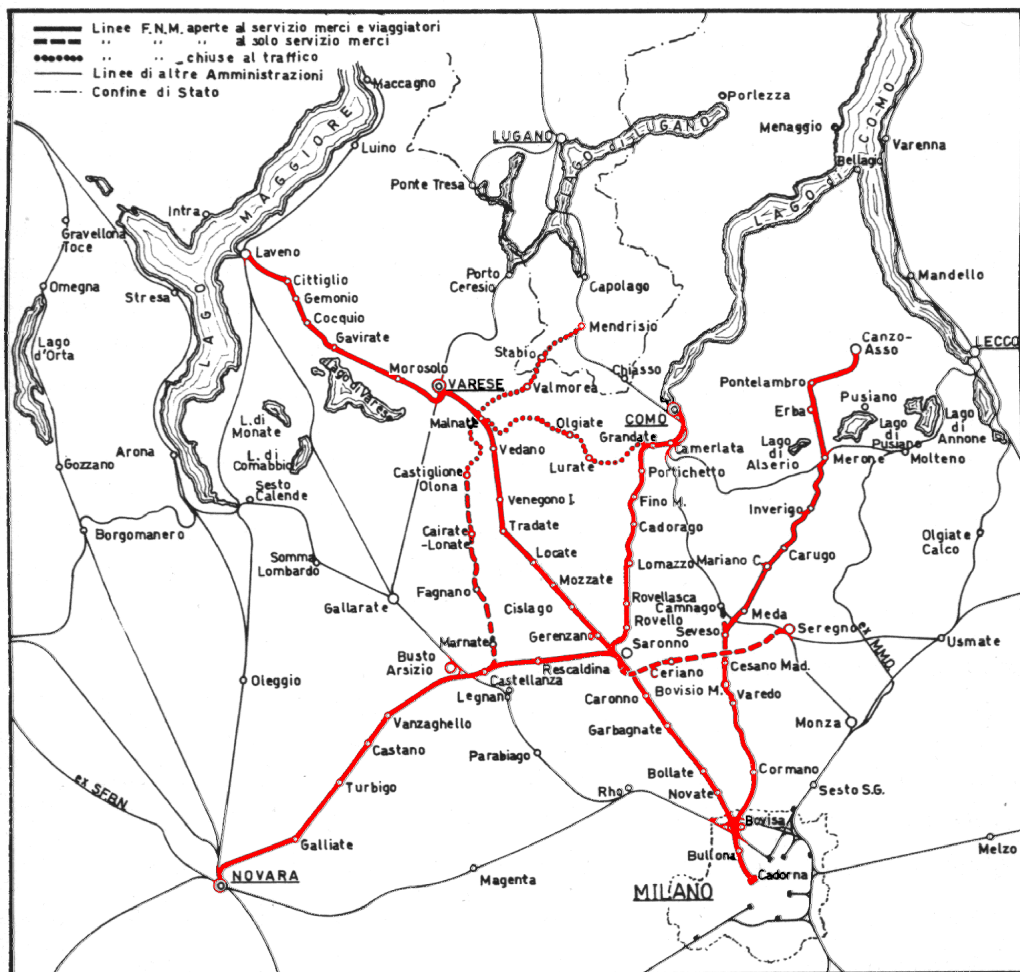



Figura 5.6 – La figura mostra l'intera rete ferroviaria delle FNM

Il tragitto è percorso giornalmente da due tipologie di treni, gli omnibus e i diretti con un tempo medio di percorrenza di un'ora e un minuto. Nel 1999 i treni con un ritardo in arrivo inferiore ai 5 minuti erano l'86,10% e quelli con un ritardo inferiore ai 15 minuti erano il 98,73 %; in particolare nella fascia oraria che ci interessa per l'applicazione, i treni con un ritardo inferiore a 5' sono il 75,18%, mentre quelli con ritardo inferiore a 15' sono il 97,64% (AA.VV., 1999c).

Figura 5.7 – La tratta Milano Nord Cadorna-Como Lago delle FNM

6

PROGETTO DI UN SISTEMA AVL APPLICATO ALLA LINEA FERROVIARIA FNM MILANO CADORNA-COMO LAGO

L’idea di dedicarci a questo lavoro nasce dalla constatazione che spesso l'utente pendolare delle FNM, costretto a scontrarsi con ritardi e malfunzionamenti, si accontenterebbe di sapere almeno quanto tempo manca all’arrivo del treno e perché deve aspettare. Conoscere queste informazioni dà sicurezza ai passeggeri e dà l'idea di un servizio efficiente, ma la loro distribuzione può avvenire con esattezza e tempestività solo SE si conosce la posizione di ciascun treno circolante e si è in grado di organizzare i dati. Da qui nasce l’idea di realizzare un sistema AVL per le FNM. In particolare nel progetto ci siamo occupati dello sviluppo dell’interfaccia GIS per la centrale operativa di Saronno e del sistema informativo per l’utente.
In questo capitolo presentiamo i componenti dei sistema AVL e dedichiamo particolare attenzione al GIS implementato.
Nel primo paragrafo vengono brevemente elencati gli elementi costitutivi del sistema e in quello successivo vengono descritti i ricevitori GPS e la rete di comunicazione proposti per la realizzazione del progetto. Nel terzo paragrafo dopo aver esposto le motivazioni che ci hanno portato ad implementare il GIS attraverso il software MapObjects, vengono descritte tutte le prestazioni fornite dal sistema informativo con riferimento ai layer utilizzati nelle tre mappe e vengono evidenziati tutti i vantaggi che le FNM potrebbero trarre dall’utilizzo del GIS. Nello stesso paragrafo dedichiamo anche qualche riga agli algoritmi che abbiamo implementato, ma per informazioni più tecniche si consiglia la lettura dell’appendice 3. Nel quarto paragrafo viene descritto il

sistema informativo proposto che prevede la diffusione delle mappe GIS in Internet. Nel paragrafo successivo sono presentati gli strumenti utilizzati per implementare l'interfaccia GIS: MapObjects e Visual Basic e in particolare ne vengono evidenziati i vantaggi e le particolarità. Infine, nel sesto e ultimo paragrafo, vengono descritte le modalità di reperimento dei dati, i layer vettoriali e raster, le fonti della cartografia e le modifiche che abbiamo dovuto apportare affinché la rappresentazione delle mappe fosse precisa ed efficace.

6.1. Il sistema AVL per le FNM

Il sistema AVL che abbiamo progettato per le FNM (vedi figura 6.1) comprende:

- l'installazione di ricevitori GPS sui locomotori,
- la realizzazione di un sistema informativo geografico e la sua installazione al PCM di Saronno,
- la realizzazione di una rete di comunicazione tre le unità mobili e il PCM,
- la realizzazione di un sistema informativo per gli utenti.

In particolare, per quanto riguarda il progetto, l'enfasi è sulla realizzazione del GIS e del sistema informativo, ma anche gli aspetti più tecnici del GPS e delle rete di comunicazione, verranno comunque esposti per illustrare i vantaggi e le caratteristiche del progetto.

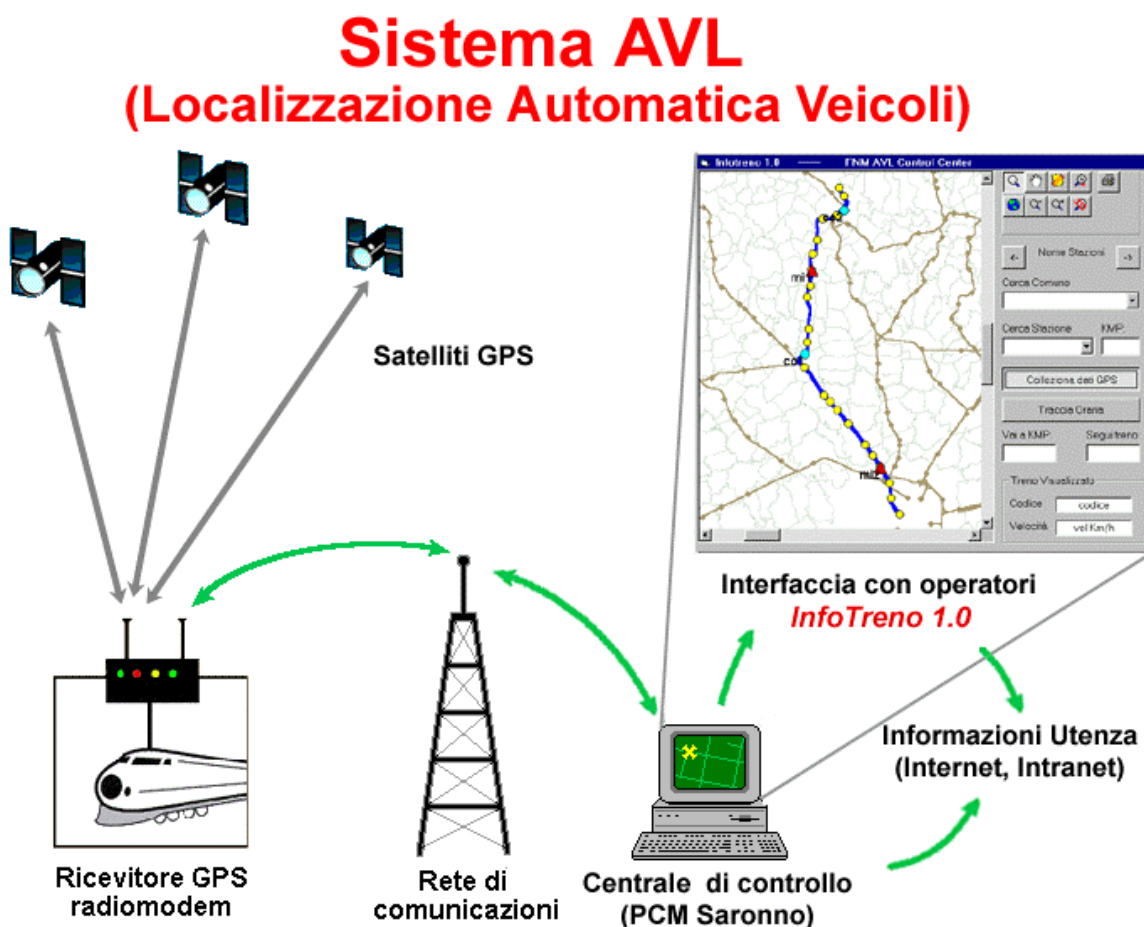



Figura 2.2 – Maschera di Access per l'interrogazione del database e la gestione degli eventi del sistema RoadSit, per la gestione dell'Autostrada A21

6.2. Il GPS e la rete di comunicazioni treno-terra

La sezione mobile, collocata a bordo dei treni, è costituita essenzialmente da un ricevitore GPS e da un trasmettitore radio. Il terminale mobile dovrà trasmettere tutti i dati in uscita dal ricevitore GPS con una frequenza tale da permettere alla centrale di controllo di ricostruire il percorso del treno con sufficiente dettaglio. Non ci sono particolari limitazioni sull'ingombro delle apparecchiature, l'unico requisito è che non interferisca con il normale lavoro del personale di bordo e che svolga le sue funzioni in modo autonomo. Potrà sfruttare la rete d'alimentazione del treno in grado di fornire qualsiasi tipo di voltaggio.

Per quanto riguarda il ricevitore GPS, esso dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- dovrà essere collocato sul locomotore del convoglio, e quindi avere un'antenna esterna con un'elevata resistenza all'infiltrazione dei liquidi e alle turbolenze provocate dalla velocità del veicolo;
- dovrà avere un tempo di riaggancio al segnale satellitare molto breve per sopperire ai brevi tratti in galleria;
- dovrà avere tempi d'aggiornamento brevi (1 secondo) per garantire una localizzazione precisa anche in caso di velocità elevate del treno (anche oltre ai 200 Km/h);
- dovrà fornire la posizione del treno con una precisione dell'ordine della decina di metri;
- dovrà essere immune dagli eventuali disturbi elettromagnetici causati dalla linea d'alimentazione e dalle scintillazioni provocate dalla perdita d'aderenza del pantografo al cavo.

Un ricevitore con queste caratteristiche è ad esempio il *ricevitore differenziale GG24 della Ashtech®*, su cui ci soffermeremo nel seguito. I ricevitori della Ashtech® integrano le informazioni ricevute dalla costellazione satellitare GPS con quella russa GLONASS. In questo modo il GG24 usa in ogni istante tutti i satelliti disponibili dei due sistemi, ottenendo sempre un'ottima copertura satellitare raddoppiando la possibilità di avere sempre in vista una buona costellazione, requisito fondamentale per una precisa localizzazione. Questa caratteristica risulta particolarmente apprezzabile in caso di

utilizzo del ricevitore in situazione di parziale copertura del cielo come in città, aree boschive o montagnose. La precisione del sistema GPS+GLONASS raggiunge i 16m contro i 100m del solo sistema GPS.

Nel caso di ricevitore differenziale GPS, le correzioni devono essere fornite ad intervalli di pochi secondi per ovviare all'errore velocemente variabile imposto dal dipartimento della difesa americano; nel caso di GLONASS non c'è nessun errore introdotto intenzionalmente ed è per questo motivo che le correzioni differenziali possono essere trasmesse con una frequenza molto minore avendo un impatto minimo sulla banda utilizzata.

La scheda tecnica del GG24:

12 canali L1 GPS

12 canali L1 GLONASS

Tempo di acquisizione a caldo: 30 sec

Tempo di acquisizione a freddo 40 sec

Tempo di riaggancio: 2 sec

Interfaccia: NMEA 0183

Correzioni differenziali RTCM

Le prestazioni:

Precisione della localizzazione:

	50%	95%
GPS+GLONASS	7m	16m
GPS	25m	100m
GLONASS	8m	20m

Precisione della localizzazione con correzioni differenziali:

	50%	95%
GPS+GLONASS	35cm	75cm
GPS	40cm	90cm
GLONASS	50cm	100cm

Caratteristiche fisiche:

Gamma di temperatura: da -30°C a +70°C

Consumo: 1.8 W

Voltaggio: 5V DC ±5%

Velocità massima: 1.000 nodi (1.850 km/h)

Altitudine massima: 60.000 piedi (18.000 m)

Tutti i ricevitori GG24 usano un'unica antenna per ricevere i segnali sia GPS che GLONASS. Il costo attuale di un apparecchio di questo tipo è dell’ordine dei 10 milioni di lire (si pensi che il costo di un locomotore è superiore ai 2 miliardi di lire).

Per quanto riguarda il trasmettitore radio, esso dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- dovrà interfacciarsi con il ricevitore GPS mediante un collegamento diretto;
- dovrà essere immune dagli eventuali disturbi elettromagnetici causati dalla linea d'alimentazione e dalle scintillazioni provocate dalla perdita d'aderenza del pantografo al cavo;
- dovrà prelevare i dati dal GPS ed elaborarli adeguatamente per trasmetterli sul canale radiomobile.

Per rete di comunicazione si intende la struttura necessaria a raccogliere i dati inviati dai treni e convogliarli alla centrale di controllo. La struttura della rete è ovviamente molto variabile secondo il tipo di trasmissione e di radio frequenza utilizzata.

Per la progettazione di questa sezione si è dovuto tenere conto dell'orografia della linea ferroviaria e dell'ubicazione del PCM. Essa dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- buona copertura radio del territorio;

- probabilità d'errore (Bit Error Rate) almeno di 10^{-5};
- possibilità di essere estesa per l'intera rete ferroviaria;
- possibilità di supportare altri servizi come la fonia e l'invio di messaggi di allarme.

Si sono prese in considerazione due differenti implementazioni del sistema di trasmissione: la prima viene realizzata con una rete radio UHF a 460 MHz specifica per l'applicazione e finalizzata alla sola trasmissione treno-terra dei dati GPS, la seconda prevede l'adesione da parte delle FNM al progetto EIRENE (European Integrated Railways Enanched Network) che specifica a livello europeo uno standard di radiocomunicazioni digitali. Per quello che riguarda le telecomunicazioni in ambito ferroviario si tende, infatti, ad una standardizzazione dei sistemi radio digitali, finalizzata a garantire l'interoperabilità tra tutti i treni circolanti in Europa (Bongiana, 1998). Questo tipo di sistema, fornisce una trasmissione dati ad alta velocità, requisito fondamentale per poter supportare tutti i servizi indispensabili per il miglioramento delle telecomunicazioni ferroviarie. Visto il carattere regionale delle Ferrovie Nord Milano ed il limitato traffico attuale, sembra ragionevole l'utilizzo della rete radio dedicata a 460MHz, che richiede anche l'installazione di un ripetitore nei pressi delle località Valcava, in modo da garantire la coperture radio di tutta la linea ferroviaria. Questa rete di trasmissione è basata su una tecnologia un po' superata a costi contenuti, ma affidabile e comunque in grado di garantire la trasmissione dei soli dati GPS alla centrale di controllo. In attesa che la tecnologia GSM-R, previsto da EIRENE, venga adottata a livello nazionale tale sistema è in grado di raggiungere lo scopo del nostro lavoro (Ceppi e Vanoli,1999).

6.3. Il sistema informativo per la centrale operativa di Saronno

Il progetto che abbiamo realizzato per le FNM ha lo scopo di diffondere una maggiore quantità di informazioni utili, in tempi brevi, al PCM di Saronno e agli utenti per rendere più efficiente il servizio offerto dalla compagnia. In particolare il sistema informativo consente di visualizzare in tempo reale tutte le informazioni (posizione e codice identificativo) provenienti dai ricevitori GPS, installati sui locomotori, sia

attraverso un quadro sinottico, che attraverso mappe in formato digitale come mostrato in figura 6.2.

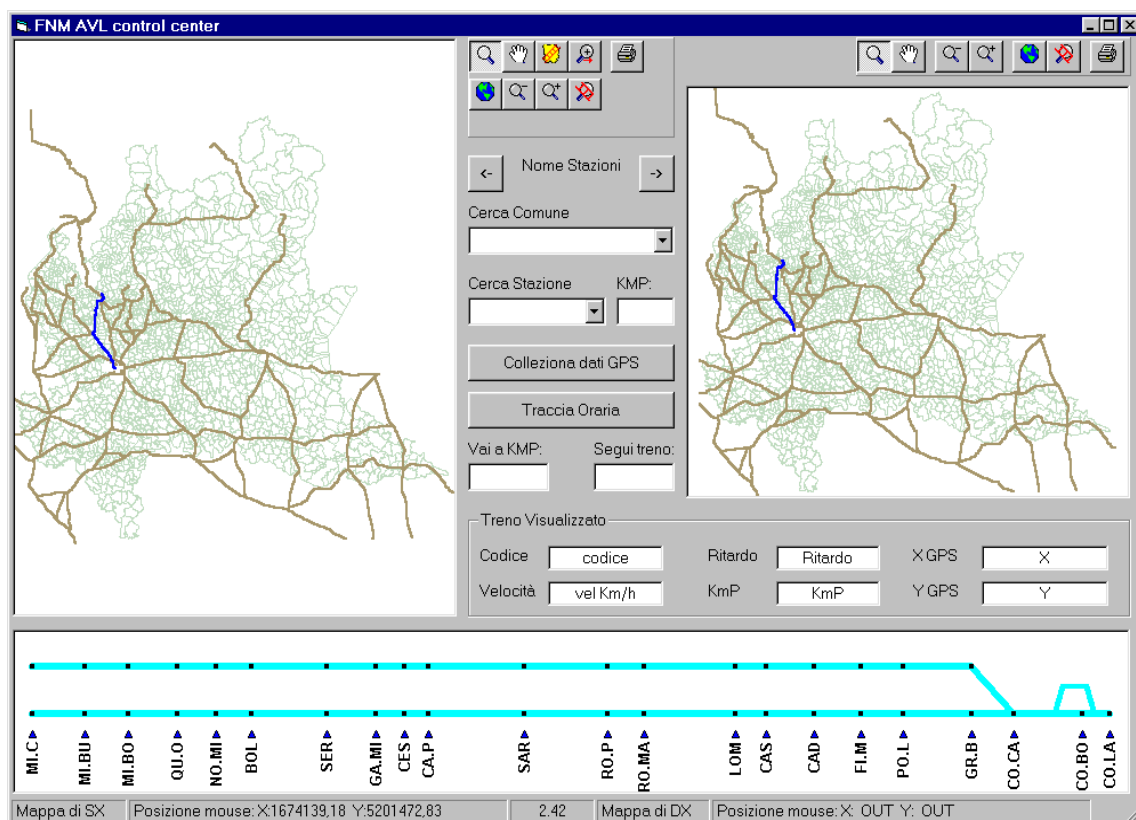



Figura 6.2 – Interfaccia GIS: schermata iniziale

Attualmente al PCM di Saronno esiste un grande quadro sinottico, rappresentante tutta la rete ferroviaria, in cui le sezioni di blocco occupate sono illuminate in rosso. Per quanto riguarda la tratta Milano Cadorna-Como Lago nulla si sa, però, sul codice identificativo del treno o sulla sua posizione all'interno delle sezione stessa. Per sapere di quale convoglio si tratta e per controllare se il treno è in orario, gli addetti devono consultare opportune tabelle o diagrammi di traccia oraria. Questi riportano su un grafico la posizione prevista del treno in funzione dell'orario.

L'obiettivo del software *InfoTreno1.0*, che abbiamo implementato, è quello di affiancarsi all'attuale sistema di visualizzazione e controllo delle informazioni utilizzato al PCM di Saronno, fornendo una maggior quantità di dati più precisi e completi di quelli attualmente disponibili.

Abbiamo quindi deciso di realizzare un sistema informativo geografico per le FNM con le seguenti specifiche:

- la possibilità di visualizzare la circolazione ferroviaria attraverso un quadro sinottico, simile a quello attualmente in uso presso la centrale operativa, ma che riporti contemporaneamente posizione esatta e codice identificativo di tutti i convogli in movimento;
- la possibilità di visualizzare informazioni geografiche, quali i limiti amministrativi, i centri urbanizzati, i laghi, i fiumi e dati riferiti ai convogli, attraverso mappe in formato digitale, in modo da poter effettuare anche analisi territoriali;
- la possibilità di poter seguire in tempo reale il percorso di un solo convoglio;
- la possibilità di eseguire automaticamente dei controlli in tempo reale su posizione e velocità dei treni in modo da garantire livelli di sicurezza più elevati, attualmente tali operazioni vengono effettuate manualmente e non sistematicamente dagli operatori del PCM;
- la possibilità di diffondere informazioni agli utenti in tempo reale.

Per questo il GIS presenta il *quadro sinottico*, mappa schematica, ma molto dettagliata della tratta Milano Cadorna-Como Lago, generalmente utilizzata da tutte le compagnie ferroviarie per monitorare la flotta di treni, e *due Mappe in formato digitale* che rappresentano i limiti amministrativi comunali dalla Regione Lombardia, le linee ferroviarie FS e FNM della regione, la tratta Milano Cadorna-Como Lago delle FNM, le stazioni FS e FNM della Lombardia e le stazioni della tratta Milano Cadorna-Como Lago delle FNM.

Le ragioni per cui abbiamo deciso di implementare il quadro sinottico sono principalmente tre:

- La possibilità di rappresentare in modo chiaro e comprensibile i dati di posizione dei convogli, provenienti da ricevitori GPS, relativamente alla strutture ferroviarie.
- La possibilità di visualizzare con efficienza le sezioni di blocco automatico occupate o libere. Le FNM, infatti, utilizzano il sistema di blocco automatico per il distanziamento dei convogli e dato che questo sistema, per regioni di sicurezza, non

verrà abbandonato dalla compagnia ferroviaria, occorre rimanere vincolati a questo metodo di controllo dei convogli e al suo più efficiente, chiaro e semplice metodo di visualizzazione: il quadro sinottico.

- La realizzazione di un sistema di visualizzazione dei dati che non si discosti da quello installato nel PCM di Saronno, per non creare difficoltà supplementari agli operatori. Il sistema AVL proposto è, per le FNM, alquanto innovativo, quindi, abbiamo pensato che implementare interfacce simili a quelle attualmente in uso avrebbe portato gli addetti ad accettarlo più facilmente.

Le mappe in formato digitale sono, per quanto riguarda la rappresentazione ed elaborazione dei dati, la componente innovativa proposta alla FNM. Attualmente infatti gli addetti del PCM sono sprovvisti di mappe che riportino anche informazioni geografiche e di strumenti che permettano di effettuare analisi territoriali . Abbiamo deciso di creare due mappe, in formato digitale, affinché, una, possa sempre fornire una visione globale della circolazione ferroviaria, mentre l'altra possa, se necessario, mostrare il percorso in tempo reale di un solo convoglio.

La mappa 1, in alto a sinistra in figura 6.3, fornisce la *visione globale* della situazione ferroviaria in tempo reale su tutta la rete. Mostra tutti i treni in viaggio con i loro codici identificativi sulla tratta FNM Milano Cadorna–Como Lago. Lo sfondo mostra i limiti amministrativi della Regione Lombardia, le linee ferroviarie FS e FNM regionali, le stazioni e in particolare la cartografia in formato raster.

La mappa 2, in alto a destra in figura 6.3, invece, permette di *visualizzare un solo treno*. Attraverso questa finestra, infatti, è possibile seguire passo passo il percorso di un convoglio e ricevere in tempo reale tutte le informazioni che lo riguardano: il codice identificativo, la velocità istantanea, la posizione in coordinate X,Y e in chilometro progressivo riferito alla stazione di partenza e il ritardo. Gli operatori del centro di controllo possono, quindi, monitorare in tempo reale un solo treno e analizzare in post processing il suo percorso.

Caratteristica comune a tutte le mappa è la capacità di mostrare la posizione dei treni in movimento, con un errore inferiore nel 95% dei casi a 10 m, e i loro codici identificativi. In questo modo gli addetti alla centrale operativa sanno non solo quale treno occupa la sezione di blocco, ma anche dove il treno si trova all'interno delle

sezione stessa. Il sistema informativo geografico è stato implementato ex novo senza utilizzare software GIS presenti sul mercato per i seguenti motivi.

- Al PCM di Saronno servono solo alcune funzionalità tra le numerose di cui sono dotati i sistemi GIS commerciali. Proporre agli addetti del PCM un software GIS completo di tutte le sue funzionalità sarebbe stato un inutile appesantimento dell'interfaccia. Spesso, infatti, l'inerzia e la diffidenza nell'installare moderni sistemi di localizzazione dei veicoli, è legata alla mancanza di preparazione all'uso di software specifici da parte degli operatori di centrale operativa.
- Togliere ed aggiungere funzionalità ad un GIS commerciale o modificarne i comandi con i linguaggi di scripting, messi a disposizione dai produttori, sarebbe stato più oneroso che non implementare le singole funzioni corrispondente alle reali esigenze operative con uno strumento di sviluppo specifico come quello da noi utilizzato (MapObjects). In particolare nel mondo ferroviario, a causa dei metodi di messa in sicurezza a blocco automatico precedentemente esposti, è imprescindibile la visualizzazione delle sezioni di binario tramite quadro sinottico. Sviluppare questo tipo di funzionalità all'interno di un GIS commerciale sarebbe stato più impegnativo della sua realizzazione in Visual Basic.
- La licenza d'uso degli strumenti di sviluppo utilizzati permette la libera distribuzione dell'applicazione realizzata, in quanto gli autori ne possiedono il copyright. Ciò consente anche la diffusione delle mappe interattive utilizzate via Internet, possibilità che abbiamo considerato ai fini di realizzare un efficace e capillare sistema informativo per l'utenza.
- I GIS sul mercato, per trattare dati in tempo reale, necessitano delle estensioni descritte nel capitolo 3, che comportano notevoli costi e un aumento del grado di complessità dell'interfaccia con l'utente e delle licenze d'uso (chiavi hardware). Inoltre le loro funzionalità non sempre possono essere esportate sul Web.
- Il software di controllo flotte, comprende anche un modulo per la gestione delle comunicazioni treno-terra che si deve interfacciare con il programma di visualizzazione grafica. Gli algoritmi ed i protocolli di comunicazione che si devono utilizzare cambiano a seconda del sistema di trasmissione dei dati scelto. Anche se tale modulo non è stato da noi realizzato, pensiamo che sia più facilmente

integrabile con un applicazione di cui si conoscono i codici sorgente ed in cui si possono variare a piacere tutti i parametri, che non con un sistema GIS preconfezionato in cui i dati devono essere mandati in input con formati predefiniti.

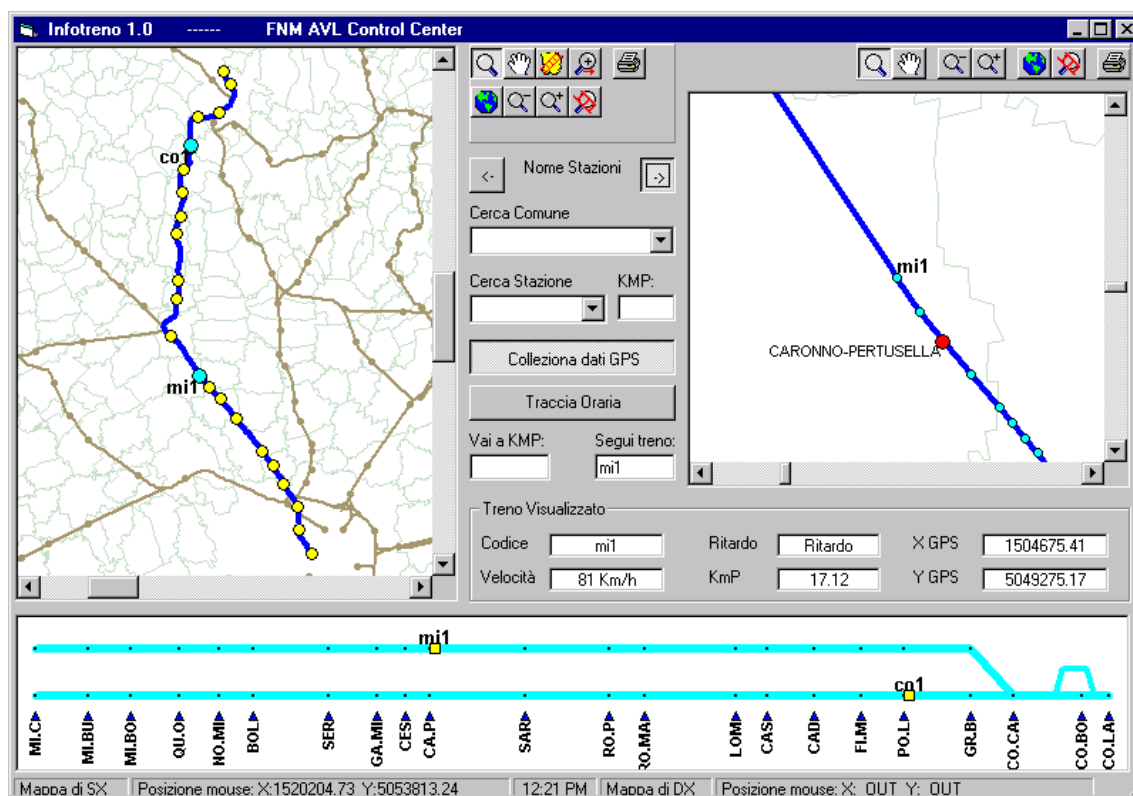



Figura 6.3 – Le tre mappe del GIS in cui compaiono i treni e le etichette dei codici

6.4. Strumenti di sviluppo

Per implementare l’interfaccia GIS abbiamo utilizzato il linguaggio di programmazione ad oggetti Visual Basic 5 ampliato da una collezione di OLE *(Object Linking and Embedding*) e di controlli OCX sviluppata dalla ESRI: MapObjects 1.2. E’ stato scelto l'ambiente di sviluppo Visual Basic per la sua facilità e versatilità nel trattare gli ActiveX e nel costruire oggetti grafici e per la sua compatibilità con tutte le applicazioni Windows. La versione 5 di questo ambiente ha il vantaggio di permettere la compilazione completa delle applicazioni fino a generare un file eseguibile (.EXE) anche su un computer non dotato di *toolbook* VBA. Inoltre è possibile costruire un programma di *setup* per la distribuzione e l'installazione dell'applicazione (*deployment*)

mediante una creazione guidata, che include automaticamente le librerie (DLL) ed i controlli (OCX) necessari al corretto funzionamento, nonché eventuali dati che si desiderano accludere.

6.4.1 Mapobjects 1.2

MapObject risponde alla nostra esigenza, sopra motivata, di costruire un'applicazione personalizzata, dotata di funzionalità mirate. Questo strumento, infatti, è prodotto della ESRI appositamente per inserire la tecnologia dei sistemi informativi geografici, nelle ormai numerose applicazioni che la richiedono: dalla semplice visualizzazione di mappe alla costruzione di modelli di analisi geografica. MapObjects è una libreria, una collezione di funzioni GIS che permettono costruire soluzioni software con una finestra geografica. In sostanza MapObjects non è un prodotto per l'utente finale, ma è dedicato a chi ha cognizione di programmazione. Il programmatore lo può utilizzare all'interno del suo usuale ambiente di sviluppo per creare ex novo applicazioni GIS o per aggiungere funzionalità geografiche a quelle già esistenti.

Il pacchetto consiste in un *OLE Control* e in un insieme di circa 35 oggetti programmabili OLE che conferiscono le funzionalità GIS. OLE è l'architettura software oggigiorno più diffusa e supportata, i suoi oggetti sono utilizzati come "mattoncini" per creare o arricchire applicazioni Microsoft Windows mediante linguaggi *object oriented*. Un OLE *Control* è un componente software riutilizzabile che consente di sviluppare funzionalità standard; in particolare il Map Control di MapObjects, è un ActiveX Control (mo10.ocx) che si inserisce direttamente in molti linguaggi di programmazione. Una volta caricato nell'ambiente di sviluppo, gli conferisce le caratteristiche e le capacità di un motore GIS uguale a quello di ArcView 3 ed ArcExplorer, ovvero tutte le funzioni necessarie a manipolare ed analizzare le mappe. Grazie a questa architettura MapObjects può essere utilizzato con la maggior parte dei più diffusi ambienti di sviluppo, tra i quali Visual Basic, Delphi, Visual C++, Microsoft Access, Visual FoxPro ed Excel. La guida in linea di MapObjects fornisce dettagli ed informazioni e contiene esempi che possono essere copiati ed incollati direttamente nelle applicazioni.

MapObjects fornisce anche editor di dati e motori per la gestione di database tra i quali i *drivers* per lo standard *ODBC (Open Database Connection),* indispensabili per

espletare le funzioni di analisi spaziale e di interrogazione SQL degli attributi relativi ai dati territoriali contenuti nei *layer* vettoriali. In dettaglio le funzionalità GIS che MapObjects permette di aggiungere sono:

- ✓ visualizzare con una struttura a *layer cake*, cioè a livelli di mappe tematiche, dati ed immagini di diversi formati:
    - tra quelli vettoriali troviamo gli Shapefile (.SHP), i *coverages* di ArcInfo e gli ESRI *Spatial Database Engine* (.SDE), i disegni CAD (.DWG, e .DXF);
    - tra i raster i più comuni si possono trattare i Tag Image File (.TIFF), le bitmap di Windows (.BMP) e molti altri meno noti; questi file di immagini, per essere correttamente collocati come cartografia di sfondo, sulla quale vengono sovrapposti i *layer* vettoriali, hanno bisogno di essere georeferenziati. Ad ogni immagine in formato raster può corrispondere un file di estensione chiamata *World file extensions* (ad esempio .TFW o .BPW rispettivamente per i file TIFF e bitmap), contenente le coordinate nel sistema di riferimento scelto (esempio UTM West, ED50, ecc.) dei suoi quattro vertici.
- ✓ eseguire le funzioni di *zoom*, *panning*, individuazione di oggetti e consultazione degli attributi sulle mappe tematiche;
- ✓ visualizzare informazioni attraverso etichette, simboli graduati, classificazioni, ecc;
- ✓ consultare database relazionali (SQL);
- ✓ effettuare analisi spaziali e *query*;
- ✓ aggiornare molto rapidamente un layer, chiamato *tracking layer,* che rappresenta dati che variano rapidamente nel tempo, senza ridisegnare tutte le mappe. Questa possibilità permette di utilizzare dati provenienti da sistemi di posizionamento satellitare (GPS);
- ✓ realizzare analisi di ricerca indirizzi (*geocoding*);
- ✓ fornire funzionalità GIS al Web.

L'estensione di MapObject chiamata *MapObject Internet Map Server* (IMS) è dotata anche della collezione di OLE necessari a pubblicare mappe ed applicazioni GIS in Internet. Qualsiasi immagine che può essere visualizzata e consultata in MapObject può anche essere pubblicata su Internet. Le pagine Web create con questo modulo, infatti, possono visualizzare tutti i formati di mappe gestiti da MapObject sopra menzionati,

sostanzialmente perché il *browser* non carica i dati nella loro struttura a layer; questo compito viene affidato al programma in esecuzione sul server che, in base alle richieste ed alle operazioni dell'utente remoto, costruisce la mappa e la invia sul Web in formato immagine. Tale procedura ha il pregio di consentire la visione delle pagine da parte di qualunque *browser*, senza l'aggiunta di nessun *plugin*, ma comporta lunghi tempi di attesa nel caricamento delle mappe.

Per ovviare a questo inconveniente e per gestire la consultazione via Internet di banche dati geografiche di grandi dimensioni, da parte di molti utenti contemporaneamente, la ESRI ha messo a punto un potente motore di consultazione e visualizzazione di dati territoriali: lo *Spatial Database Engine*. Il motore SDE, poco conosciuto in Italia, utilizza un modello dati unificato per memorizzare informazioni spaziali e attributi nei database relazionali e per creare dei layer vettoriali con estensione propria (.SDE). Le interrogazioni spaziali avvengono sempre utilizzando operatori standard SQL sugli attributi degli oggetti geografici, ma i risultati possono essere utilizzati direttamente in applicazioni cartografiche (come di consueto nei GIS) o in altre applicazioni che richiedano analisi spaziali, senza passare per la creazione di un layer in uno specifico formato. In pratica il motore SDE è in grado di creare un layer in base alle richieste dell'utente a partire da un database di attributi. I database con cui si può interfacciare sono quelli commerciali più diffusi, come Microsoft SQL Server, IBM DB2, Sybase, Informix ed Oracle, quest'ultimo molto usato nel campo dei sistemi informativi per i trasporti. L'IMS di MapObject e di ArcView risultano entrambi compatibili con il motore SDE, che, riuscendo a gestire ingenti quantità di informazioni in un unico database condiviso ad accesso multiutente, garantisce la miglior funzionalità ed efficienza per server Internet. MapObject Internet Map Server è compatibile con gli standard commerciali più diffusi, come il Netscape Web Server, il Microsoft Internet Server e tutti quelli che supportano le estensioni NSPA/ISAPI.

Da sottolineare che la nostra applicazione ha fatto largo uso degli oggetti OLE *Tracking Layer* e *Recordset,* i cui diagrammi sono visibili in figura 6.4.

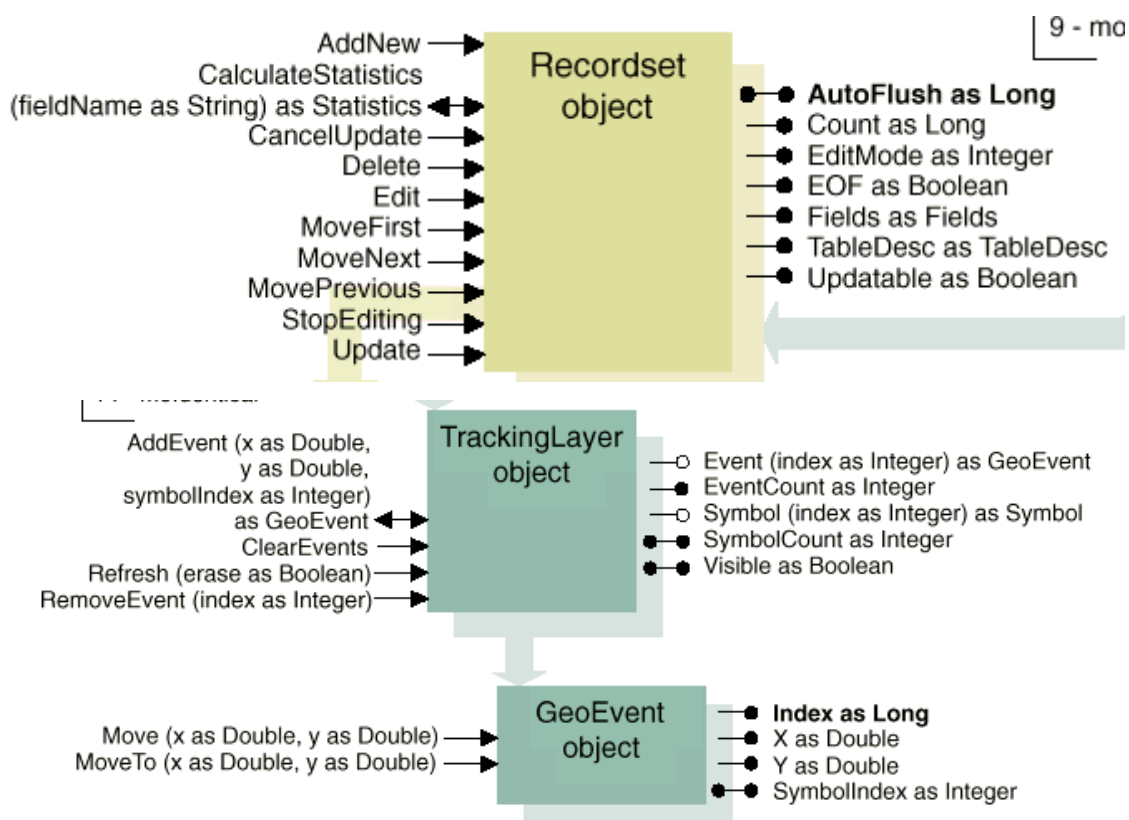



Figura 6.4 - Diagramma ad oggetti dei controlli OLE Tracking Layer e *Recordset*

Nel *Tracking Layer* vengono inseriti tutti i dati provenienti dai ricevitori GPS e rimossi alla successiva ricezione del pacchetto, rispettivamente tramite le funzioni *AddEvent e ClearEvents.* Inoltre vengono aggiunte le etichette relative agli eventi mobili ed alle stazioni, quando l'utente lo desidera, sottoforma di testo (*DrawText*). Il *Recordset* consente di consultare e confrontare i file DBF, ovvero i database contenenti gli attributi dei layer vettoriali SHP (*shapefile*). Ogni oggetto (punto, linea, poligono) contenuto nel database è un record i cui attributi sono memorizzati nei vari campi (*fields*) che possono essere consultati o modificati. Nelle funzioni di ricerca da noi implementate, per scorrere i record dei file .dbf, contenenti gli attributi, viene utilizzata la funzione *MoveNext*, che avanza di riga in riga fino alla fine del file indicata dal carattere di EOF.

6.5. Funzioni del sistema informativo implementato

Il GIS che abbiamo realizzato per le FNM comprende sia funzioni tipiche dei sistemi informativi geografici, come le operazioni di zoom e pan, sia funzionalità specifiche per

le applicazioni nel campo ferroviario. Qui di seguito riportiamo tutte le prestazioni offerte dal GIS.

Lo scopo dell'interfaccia GIS è quello di ricevere e rappresentare in modo chiaro e semplice i dati, relativi ai treni, inviati da ricevitori GPS installati sui locomotori. L'applicazione specifica di un sistema AVL nel campo del trasporto su rotaia richiede al GIS le seguenti prestazioni:

➔ acquisizione dei dati GPS in tempo reale;

➔ correzione e interpretazione delle informazioni;

➔ controllo dei dati;

➔ visualizzazione attraverso mappe.

Per realizzare un GIS con questo caratteristiche e prestazioni abbiamo implementato diverse procedure con una struttura modulare facilmente modificabile in vista di futuri possibili ampliamenti. La struttura complessiva può essere rappresentata attraverso uno schema a blocchi semplificato, visibile nel diagramma 1 (in questa sede non diamo una descrizione tecnica delle procedure, fornita nell'appendice 3).

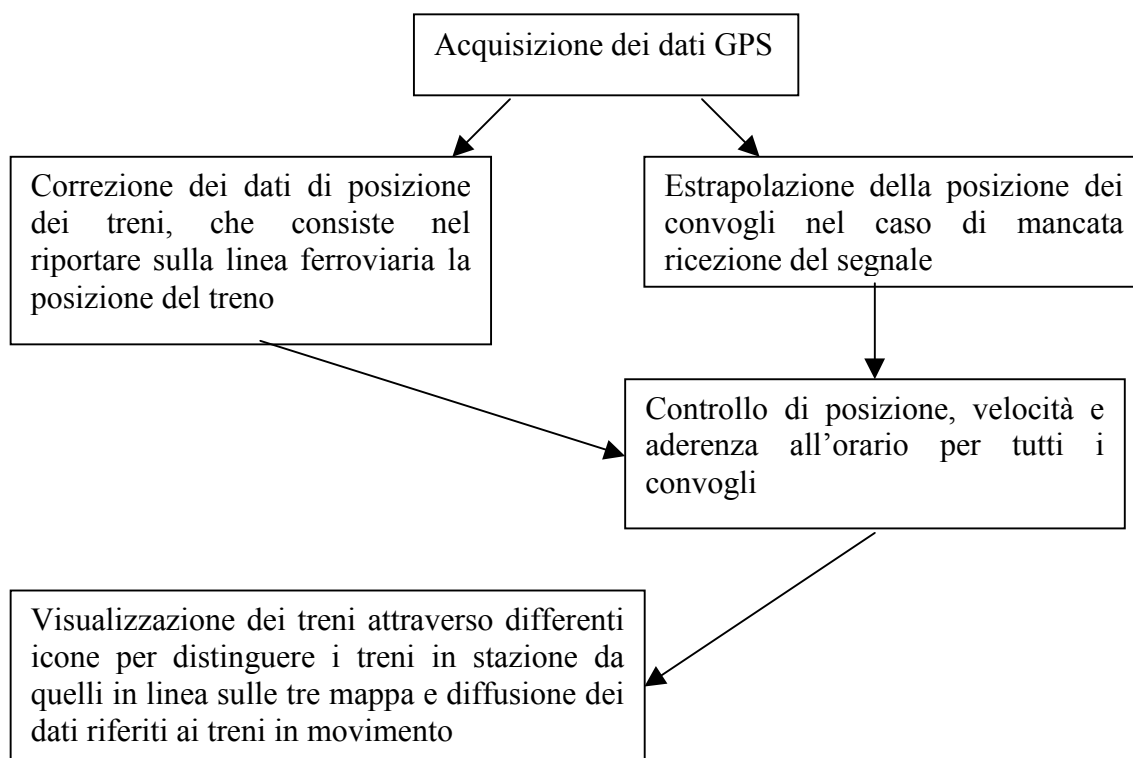



Diagramma 1 – Schema a blocchi dei moduli di cui è composto Infotreno 1.0

6.5.1. Acquisizione dei dati GPS

Attualmente la visualizzazione dei treni in viaggio sulla linea inizia dopo l'attivazione di un bottone, perché il GIS non riceve realmente i dati GPS in tempo reale, ma simula la ricezione delle informazioni. Il bottone "Colleziona Dati GPS" ci permette di attivare una procedura che a sua volta consente di simulare la ricezione, da parte della centrale di controllo, dei dati dei treni in movimento inviati dai ricevitori GPS. Una volta selezionato il bottone, si attiva la procedura Timer 1 che permette di aggiornare e visualizzare attraverso algoritmi particolari la posizione dei convogli sulla tratta Milano Cadorna-Como Lago. Questa procedura, che si attiva automaticamente una volta ogni 10 secondi, legge in appositi file le informazioni riferite ai convogli: codice, posizione, velocità e ora e dopo averle controllate ed elaborate le fornisce a video. Le informazioni contenute nei file sono state generate in modo conforme all'orario ufficiale delle FNM e alle caratteristiche dei dati elaborati da ricevitori GPS.

6.5.2. Correzione dei dati GPS

Nel 95% dei casi la posizione calcolata dal GPS non è quelle esatta, ma contiene un errore che nel nostro caso è di circa 10 m, per questo abbiamo implementato all'interno di Timer 1 due procedure che riportano le coordinate indicanti la posizione del treno, calcolate dal ricevitore GPS, sulle rotaie nel caso cadano fuori. Questa operazione viene indicata con il termine *map matching*. Per fare questo, una procedura trova il segmento di ferrovia più vicino al punto GPS e l'altra riporta attraverso una proiezione ortogonale il punto sul segmento ferroviario. Il fatto che i treni siano obbligati a viaggiare lungo le rotaie permette di ridurre l'errore di posizionamento satellitare. Riportato il punto GPS di coordinate X, Y sulla cartina e tracciato il cerchio di raggio 10 m nel quale si ha una probabilità del 95% di trovare il punto reale corrispondente alla posizione del treno, si sa a priori che quest'ultimo non sarà in un qualsiasi punto appartenente all'area delimitata dalla circonferenza, ma si troverà sulla corda individuata dall'intersezione della circonferenza con il segmento di ferrovia come mostrato in figura 6.5.

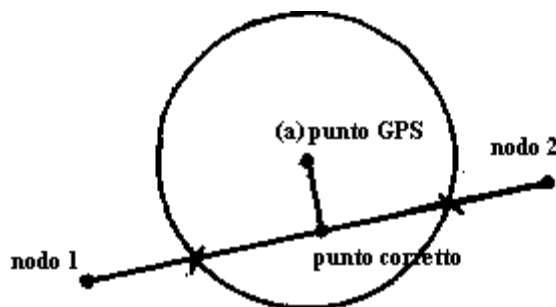



Figura 6.5 – La figura mostra il punto GPS (a), la corda di ferrovia generata dall'intersezione del segmento di ferrovia, compreso tra nodo 1 e nodo 2, con la circonferenza di raggio 10 m e centro nel punto GPS e il punto corretto nel quale viene posizionato il treno

Non possiamo sapere quale sia la distribuzione di probabilità dell'errore dato dal GPS perché questo è il risultato di diverse componenti:

- errori di misura;
- errore SA;
- errore di conversione da coordinate WGS84 a coordinate UTM X,Y.

Se la distribuzione dell'errore non è equiprobabile su tutta l'area delimitata dalla circonferenza di raggio 10 m, ma ha una forma a campana del tipo di quella mostrata in figura 6.6, come facilmente ipotizzabile, il fatto di riportare il punto GPS sulla linea ferroviaria attraverso una proiezione ortogonale permette di spostarlo esattamente nella zona più probabile. In letteratura è stato calcolato che questa riduzione dell'errore di posizionamento è proporzionale di un fattore uno su radice di due all'errore stesso (Luis Perez, 1997 a).

6.5.3. Interpretazione ed estrapolazione della posizione in caso di mancata ricezione del segnale GPS

La procedura Timer1 prevede anche la gestione dei casi di mancata ricezione del segnale GPS dovuta alla presenza di gallerie o di altri ostacoli lungo il percorso e alla mancanza di collegamento radio. In questo caso un algoritmo calcola la posizione del treno in funzione della velocità che il convoglio possedeva all'istante di ricezione dati

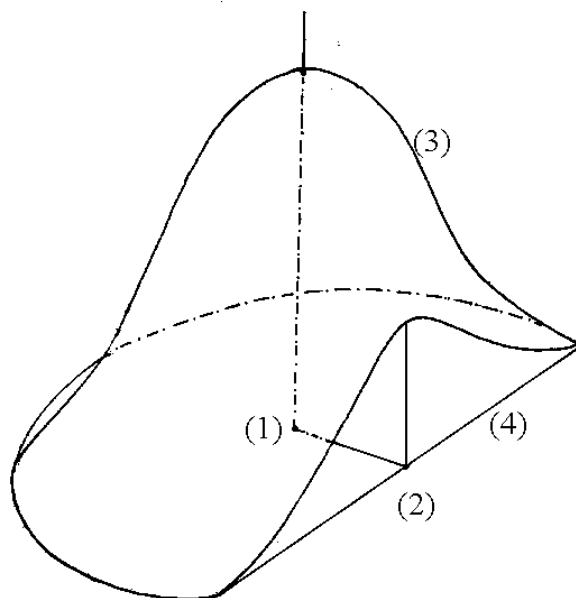



Figura 6.6 – La figura mostra come la proiezione ortogonale permette di riportare il punto GPS sulla linea ferroviaria nel punto più probabile, fatta l'ipotesi che la distribuzione di probabilità sia con forma a campana nello spazio; (1) indica il punto GPS; (2) indica il punto corretto che corrisponde alla posizione del treno; (3) corrisponde alla distribuzione di probabilità dell'errore; (4) indica la linea ferroviaria

precedente. Ipotizzando che il treno viaggi a velocità costante, l'algoritmo calcola la distanza che questo dovrebbe aver percorso nell'intervallo di tempo trascorso dall'ultima misura. Una volta che il segnale ricompare si riassumono come "veri" i dati provenienti dal GPS: ad esempio se il treno ha rallentato e risulta dall'applicazione dell'algoritmo aver percorso un tratto più lungo di quello reale, al momento in cui il segnale ricompare, il convoglio viene fatto retrocedere. Dato che il treno non può mai cambiare senso di marcia, le posizioni calcolate e non ricevute da GPS, vengono segnalate a video con modalità differenti per evitare errori di interpretazione da parte degli operatori (vedi figura.6.7). Le ipotesi fatte per l'estrapolazione della posizione in funzione della velocità potrebbero essere applicate anche per la previsione dell'orario di arrivo in caso di ritardo. Noti lo spazio da percorrere per giungere in stazione e la velocità del convoglio risulta semplice ricavare l'orario previsto di arrivo. In realtà, per questo tipo di previsione, si potrebbero fare ipotesi meno banali e semplificative, si

potrebbe infatti supporre che la velocità del treno non sia costante e pari alla velocità istantanea del passo precedente, ma sia variabile in modo conforme al diagramma di trazione, oppure che sia costante, ma pari alla velocità media di tratta oppure si potrebbe implementare un modello ARMA per la velocità. L'ipotesi fatta, per determinare la posizione del treno, in caso di mancata ricezione del segnale risulta essere semplice, ma comunque efficace.

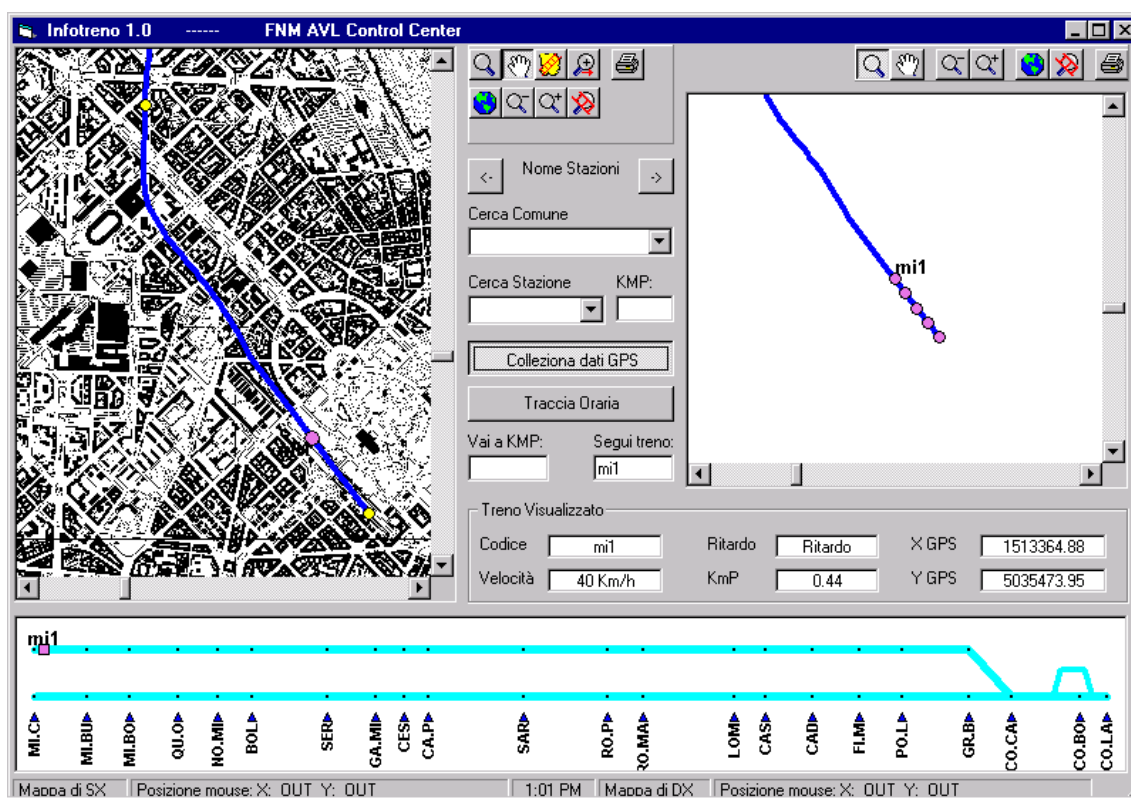



Figura 6.7 - Visualizzazione dei treni il cui segnale GPS non è stato correttamente ricevuto alla centrale di controllo

6.5.4. Algoritmi per il controllo di posizione, velocità e aderenza al diagramma di traccia oraria

L'algoritmo di Timer 1 controlla ad ogni passo che i dati riferiti alla nuova posizione del convoglio siano consistenti, cioè ogni volta verifica che questi non comportino il cambiamento del senso di marcia del treno. Se questo avviene il treno viene mantenuto nella posizione precedente fino a nuovo aggiornamento dei dati.

Un'altra procedura all'interno di Timer 1 controlla automaticamente la velocità di ogni treno in viaggio. L'algoritmo confronta la velocità di crociera con quella massima consentita nella tratta in cui si trova il convoglio e in caso di eccesso di velocità fa comparire una finestra di allarme. Le tratte rispetto alle quali sono stabiliti i limiti di velocità coincidono con le porzioni di linea delimitate dalle stazioni. Nel tratto a binario singolo, tra Como Camerlata e Como Lago, il limite di velocità è diverso a seconda del senso di marcia.

Attraverso il bottone "Mostra traccia oraria" si attiva una procedura che permette di visualizzare in tempo reale su un finestra il diagramma di traccia oraria di un qualsiasi treno e di confrontarlo con il diagramma teorico in modo da individuare possibili ritardi. Il diagramma, mostrato in figura 6.8 riporta in ascissa lo spazio percorso espresso in chilometri e in ordinata il tempo espresso in minuti.

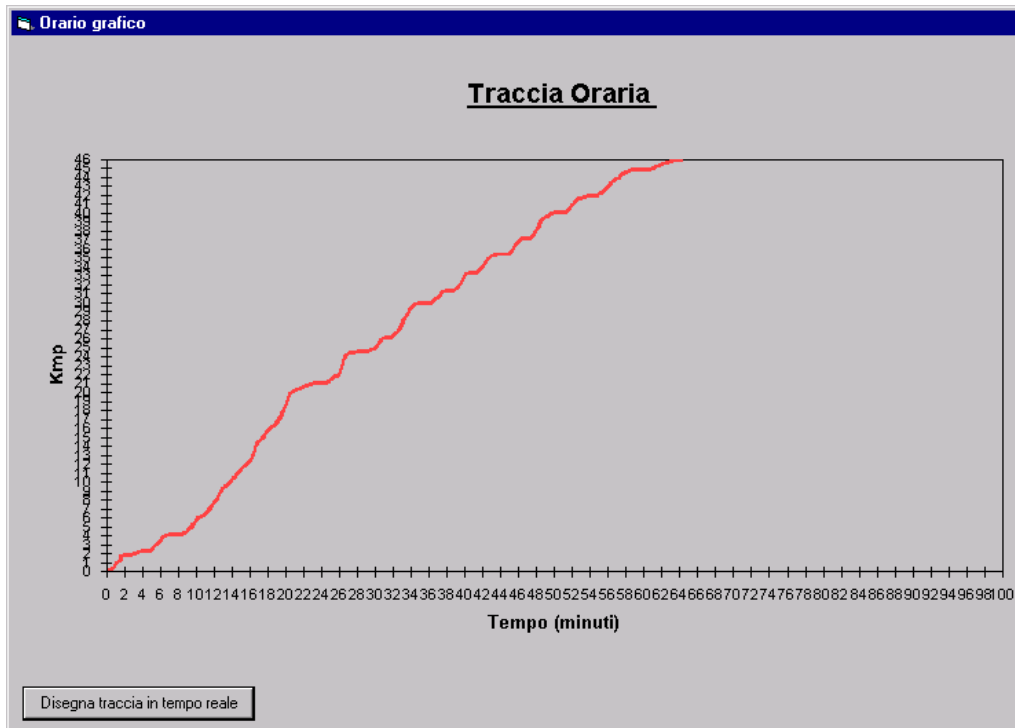



Figura 6.8 – Diagramma di traccia oraria, altrimenti detto "Orario Grafico"

Un algoritmo può, in questo modo, verificare in tempo reale e automaticamente l'aderenza all'orario di tutti i treni in viaggio e quantificare il ritardo. Il nostro algoritmo esegue il controllo per un solo treno cioè quello selezionato nella finestra "Segui treno" e visibile sulla mappa 2 e visualizza il ritardo nell'apposita finestra. Inoltre si possono

visualizzare sullo stesso grafico diagrammi di traccia oraria di più convogli in modo da evidenziare i possibili punti di intersezione tra le curve di due diverse treni e contemporaneamente il luogo e l'ora dell'incontro fra i due convogli.

6.5.5. Visualizzazione dei treni in movimento selle mappe

Attraverso una procedura chiamata da Timer 1, vengono distinti i treni in stazione o a una distanza inferiore a 70 m dalla stazione, da quelli in viaggio lungo la linea in modo che possano essere visualizzati diversamente (vedi figura 6.9).

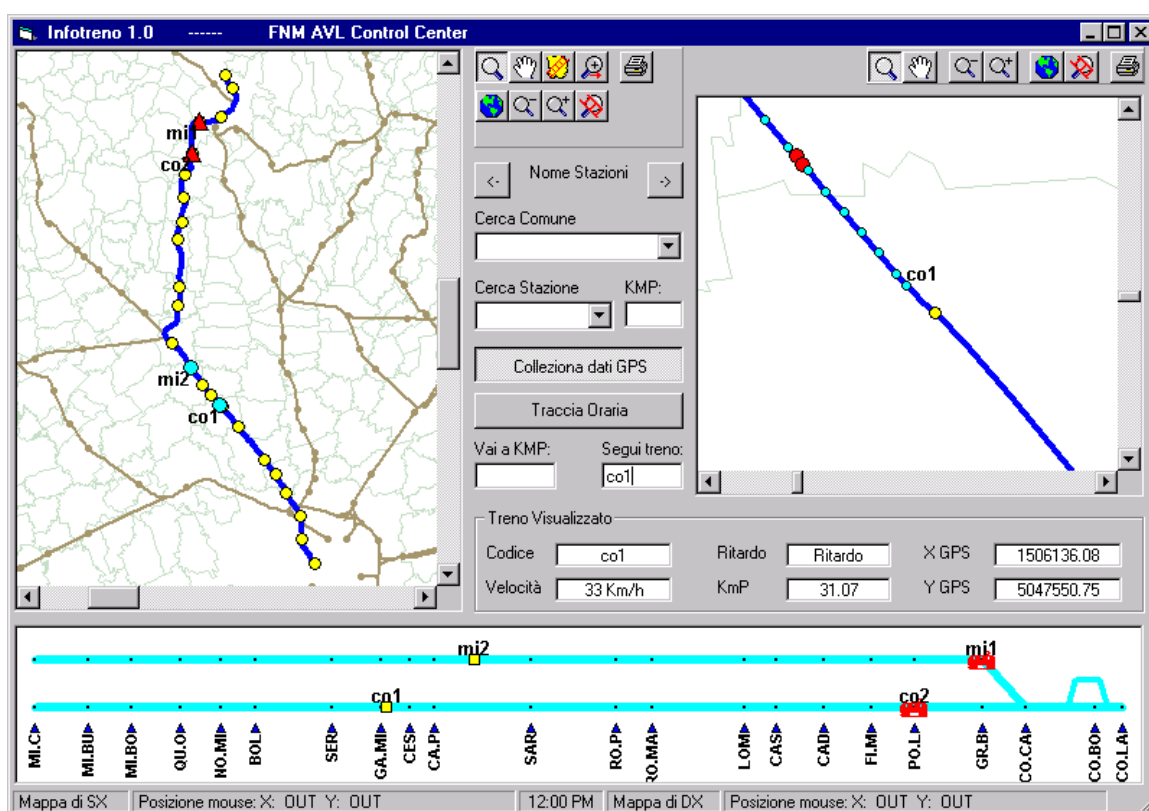



Figura 6.9 – I treni in stazione sono rappresentati, nella mappa 1, attraverso un triangolo rosso, mentre quelli in linea da un cerchi azzurro

In questo modo sulle tre mappe i treni in movimento lungo il tracciato vengono automaticamente visualizzati con icone diverse da quelle che rappresentano i treni in stazione. L'icona dei convogli, la cui posizione è stata calcolata per mancata ricezione di dati GPS, viene differenziata ulteriormente per facilitare la gestione della flotta attraverso una visualizzazione chiara e semplice.

Il sistema informativo geografico implementato permette quindi di visualizzare automaticamente, una volta selezionato il bottone "Collezione dati GPS", i treni in movimento e i codici identificativi, ad essi associati, sulla mappa 1 e sul quadro sinottico. Per seguire, sulla mappa 2, un solo treno l'operatore deve inserire nella finestra "Segui treno" il codice di un treno e quindi sulla mappa viene visualizzato in tempo reale il percorso in modo che la posizione del convoglio si aggiorni ad ogni passo, ma che rimanga memoria di tutto il tragitto (vedi figura 6.10).

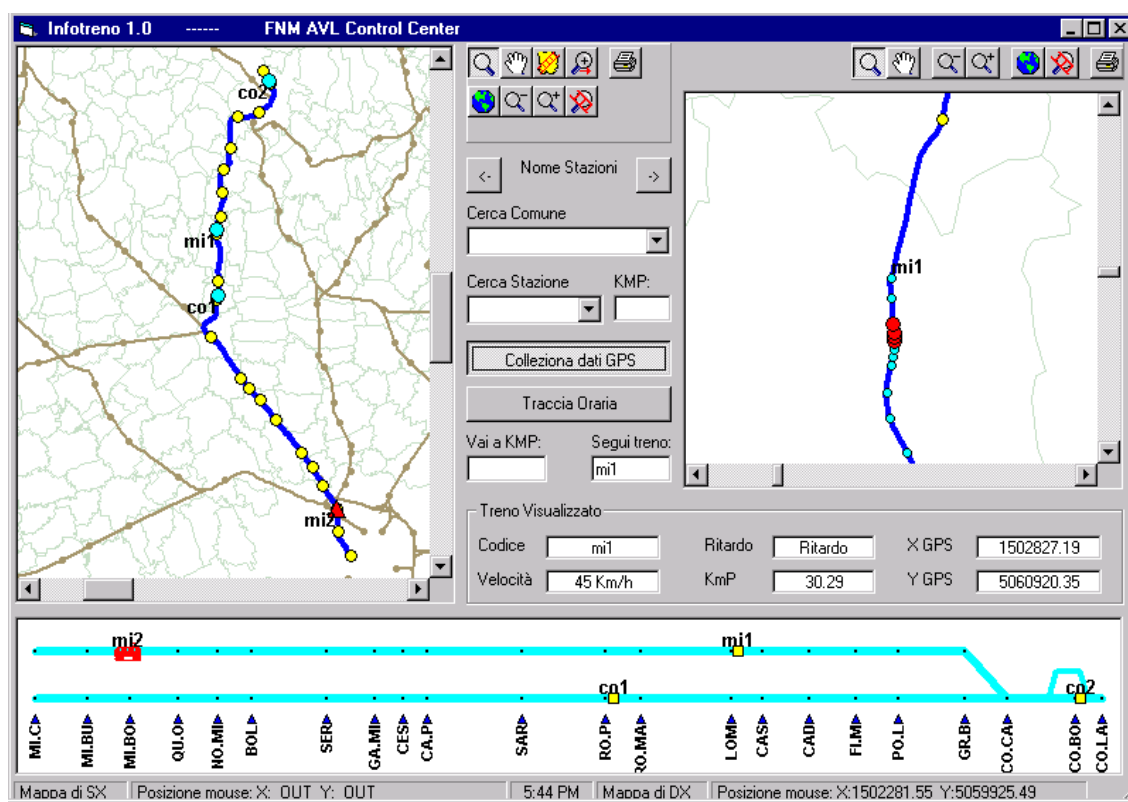



Figura 6.10 – Visualizzazione del percorso di un treno sulla mappa 2

Questo permette di effettuare analisi in post-processing. Il software proprio per consentire indagini di questo tipo memorizza in appositi file i dati riferiti a tutti i treni in movimento in modo che, in caso di incidenti, guasti e malfunzionamenti, si possano effettuare analisi sui percorsi. Nelle apposite finestre appaiono anche tutti i dati relativi al treno visualizzato nella mappa 2, in particolare si possono leggere: il codice identificativo, la posizione attraverso le coordinate X, Y e attraverso il chilometro

progressivo calcolato a partire dalla città di partenza del convoglio stesso, la velocità istantanea e il ritardo.

6.5.6. Le funzionalità GIS

Le altre funzionalità implementate sono simili a quelle tipiche dei sistemi informativi geografici e comprendono operazioni sulle mappe e analisi spaziali territoriali.

Attraverso i tipici bottoni si possono eseguire le operazioni di:

- zoom della porzione di mappa delimitata dal rettangolo individuato dall'utente. La mappa appare al nuovo livello di zoom nelle stessa finestra.
- aumento e diminuzione del livello di zoom di un fattore prefissato (zoom in e out) dell'intera mappa 1 e 2
- zoom out con un livello prefissato del quadro sinottico
- zoom, con una scala prefissata, di una porzione di mappa centrata sulla tratta ferroviaria Milano Cadorna–Como Lago delle FNM sia in mappa 1 che in mappa 2
- zoom di una porzione di mappa 1 individuata dall'utente visualizzata sulla mappa 2
- pan cioè la possibiltà di spostare la mappa, eseguibile sia sulla mappa 1 che sulla 2
- ripristino della massima estensione delle mappe 1 e 2
- visualizzazione dei comuni attraversati da un arco di ferrovia selezionato dall'utente in mappa 1
- stampa delle mappe 1 e 2

Inserendo nella finestra "Vai a chilometro progressivo" un valore compreso fra 0 e 45,927 km viene visualizzato sulla mappa 1 e sul quadro sinottico il punto che dista il valore inserito di chilometri da Milano.

Abbiamo implementato anche due *query spaziali*:

- Cerca Comune;
- Cerca Stazioni;

che permettono rispettivamente di visualizzare sulla mappa 1 un comune o una stazione con il rispettivo chilometro progressivo a partire da Milano. L'elenco dei comuni e delle stazioni viene fornito in ordine alfabetico (vedi figura 6.11) e, una volta selezionato un oggetto attraverso un menu a tendina, l'algoritmo cerca all'interno del database la

stazione o il comune con campo denominazione uguale a quella selezionata e restituisce a video l'oggetto cercato facendolo lampeggiare (vedi figure 6.12 e 6.13).

Attraverso il bottone "Nome Stazioni" si possono visualizzare sulla tratta di ferrovia Milano Cadorna-Como Lago le etichette dei nomi di tutte le stazioni sia sulla mappa 1 che sulla 2. Sul quadro sinottico i nomi delle stazioni sono sempre visualizzati per facilitare il controllo dei convogli da parte degli operatori.

Figure 6.11 – Menu a tendina con l'elenco delle stazioni FNMdella linea Milano-Como in ordine alfabetico

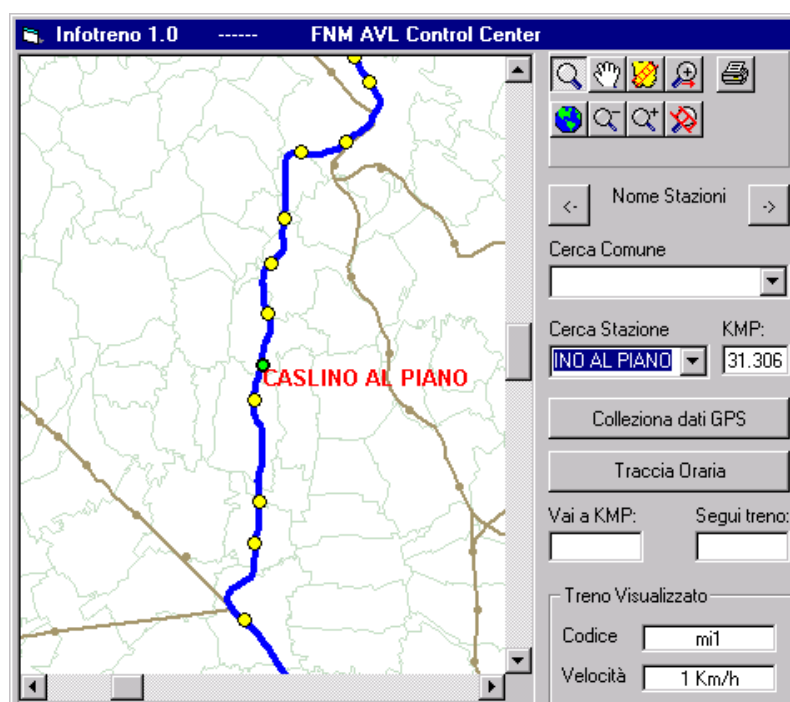



Figura 6.12 – Visualizzazione della stazione cercata sulla mappa 1

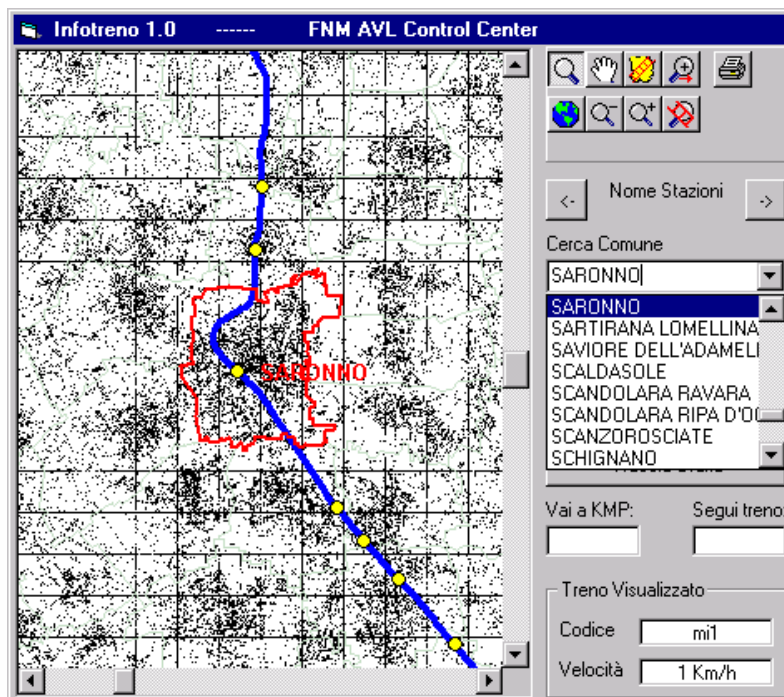



Figura 6.13 – Visualizzazione del Comune cercato sulla mappa 1

6.5.7. I layer delle mappe

I layer in formato vettoriale sovrapposti nella mappa 1 sono:

- limiti amministrativi comunali delle Lombardia;
- le linee ferroviarie FS e FNM delle Lombardia;
- le stazione ferroviarie FS e FNM regionali;
- la linea ferroviaria Milano Cadorna–Como Lago delle FNM;
- le stazioni FNM della tratta Milano Cadorna–Como Lago.

Questi non appaiono tutti contemporaneamente quando la mappa è al suo massimo livello di estensione, ma risultano visibili a seconda dei diversi livelli di zoom raggiunti sulla mappa stessa: Inizialmente quando il programma viene lanciato nella finestra 1 la mappa compare in tutta la sua estensione, come mostrato in figura 4 e raffigura i limiti amministrativi della Regione Lombardia, le linee ferroviarie FS e FNM della regione e la linea ferroviaria Milano Cadorna-Como Lago delle FNM. Questa è l'estensione massima delle mappa, ma attraverso la funzionalità di zoom si può arrivare ad un estensione ridotta che permette di visualizzare i dettagli.

Le stazioni delle linea ferroviaria Milano Cadorna-Como Lago appaiono quando l'estensione delle mappa è a ½ delle sua massima estensione e le icone si ingrandiscono quando l'estensione raggiunge il livello di 1/6.

Il layer delle stazioni ferroviarie FS e FNM della Lombardia appare anch'esso quando il livello di zoom è di 2:1, ma sia questo che il layer delle linee ferroviarie FS e FNM scompaiono quando il fattore di zoom aumenta a 20:1.

Lo spessore della linea rappresentante la tratta ferroviaria Milano Cadorna–Como Lago, appare di dimensioni più elevate quando l'estensione si riduce a meno di ½ dell'estensione massima della mappa.

Quando il livello di zoom supera 20:1 rispetto alla massima estensione, appare il layer raster della Carta Tecnica Regionale (vedi figura 6.14).

I layer vettoriali della mappa 2 sono identici a quelli della mappa 1 e compaiono con le stesse modalità. In questa mappa però non risulta visibile la cartografia in formato raster.

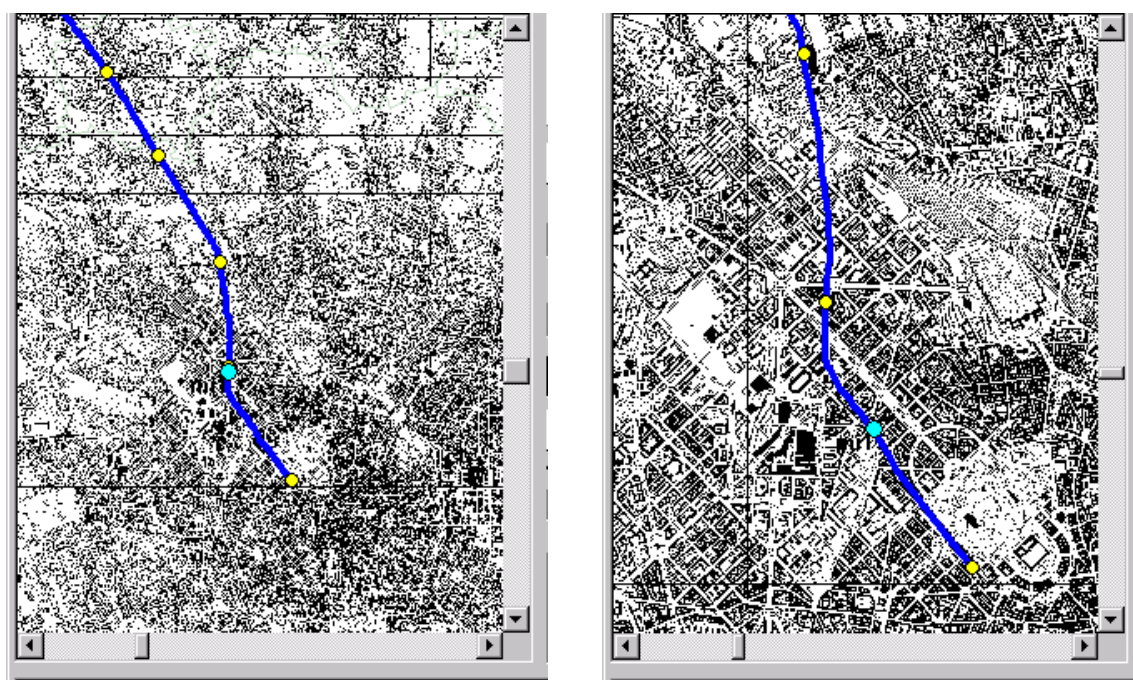



Figura 6.14 – Layer in formato raster della CTR 1:10000. A sinistra il fattore di zoom è di 20:1 mentre a destra è superiore

6.5.8 I vantaggi

Il nostro GIS ha lo scopo di elaborare le informazioni relative ai treni, di visualizzarle con riferimento territoriale in modo da renderle facilmente comprensibili e di distribuirle sia ai passeggeri che agli addetti delle FNM. Qui di seguito riportiamo i **vantaggi** che le FNM avrebbero nell'utilizzare il sistema AVL:

- Con l'attuale sistema di blocco automatico la posizione di ciascun locomotore viene associata ad una tratta lunga anche 2 Km. Un moderno ricevitore GPS garantisce invece per il 95% del tempo un errore sul calcolo della posizione del locomotore di poche decine di metri. Nel caso di un guasto improvviso, la conoscenza pressoché esatta della posizione in cui il treno si è fermato e del codice identificativo permette, al dirigente di centrale, di prendere più velocemente i provvedimenti del caso. Le mappe in formato raster permettono di effettuare analisi di accessibilità ai binari e in caso di incidente o guasto in centrale operativa si può valutare a quale stazione di soccorso rivolgersi attraverso alcuni layer che contengono informazioni ausiliarie (postazioni di soccorso, vigili del fuoco, polizia, ecc.).
- Nel caso di un guasto al circuito del blocco automatico, attualmente, la centrale perde completamente la posizione dei convogli in quella tratta di linea. Il ricevitore GPS, a 12 o 24 canali paralleli, rimane invece praticamente sempre agganciato ai segnali dei satelliti che gli consentono la localizzazione. Questo è facilitato dal fatto che il territorio sul quale si snoda la rete ferroviaria delle FNM è prevalentemente pianeggiante e con gallerie brevi, cioè garantisce continuamente la visibilità dei satelliti.
- Ciascun tratto di linea è caratterizzato da una velocità massima di percorrenza. Se un treno viaggia a velocità eccessiva, sui monitor della centrale di controllo può scattare un allarme che può essere subito notificato al conducente. Oggigiorno, infatti, la causa principale di incidenti ferroviari è l'eccesso di velocità. Poter controllare costantemente la velocità dei convogli migliora pertanto le condizioni di sicurezza dei viaggiatori. Il conducente stesso, se la cabina fosse dotata di un piccolo monitor, potrebbe confrontare in continua la propria andatura con quelle massima consentita nella sezione di blocco.

- Il sistema di posizionamento GPS fornisce alla centrale operativa, non solo le coordinate spaziali e il codice del veicolo in movimento, ma anche l'ora di ricezione ad esse associata. Confrontando via software le informazioni di ora e posizione con la tabella di marcia teorica è possibile conoscere, in tempo reale, ritardi o anticipi. Questo permette agli operatori di centrale di consigliare ai conducenti e ai capistazione il tipo di misure da adottare e di effettuare delle previsioni sull'orario di arrivo del treno.
- Alla centrale operativa possono essere archiviate le informazioni relative alla marcia di ciascun treno, in particolare la posizione sulla linea e la velocità. Questo servizio viene solitamente chiamato di "scatola nera". Dall'analisi dei file storici si può risalire alle cause degli incidenti ed effettuare considerazioni sulla frequenza dei guasti mettendoli in relazione ai tratti di linea in cui si verificano.
- Il sistema di ripetizione in macchina dei segnali fissi per mezzo della lettura delle correnti codificate del circuito di binario si è dimostrato troppo fragile. In molte occasioni il conducente deve fare affidamento sulla sua conoscenza del tracciato e sulla sua esperienza. Tutte le informazioni elaborate dal ricevitore GPS possono essere facilmente visualizzate su un monitor sistemato in cabina di comando.
- Con un sistema informativo GPS–GIS la posizione del treno viene automaticamente associata ad un punto chilometrico lungo la linea; quindi rimane sempre sotto controllo la distanza tra due convogli. Se due treni viaggiano troppo vicini, in centrale può scattare un allarme sonoro e visivo che può essere subito notificato ai conducenti.

6.6. Sistema informativo per l'utente

Attualmente nelle stazioni di Milano Cadorna e di Bullona è attivo un impianto automatico di informazioni al pubblico. L'impianto di Cadorna è composto da tre cartelli riassuntivi posti nell'atrio e da dieci cartelli indicatori posti in testa ad ogni binario. L'impianto di Bullona è costituito da cartelli indicatori posti sopra la biglietteria e sulla pensilina e da impianto automatico di diffusione sonora per l'emissione di annunci memorizzati digitalmente. Sulla tratta Bovisa-Saronno è attivo un impianto

automatico di informazione al pubblico costituito da monitor e da cartelli indicatori a palette posti sulle banchine (Mazzetti, 1998). In realtà tutti questi sistemi informativi raramente riescono a riportare dati consistenti e utili ai passeggeri. A parte in casi di forti rallentamenti dei convogli, la centrale operativa non diffonde informazioni sui ritardi e in casi di guasto o di arresto del locomotore le informazioni sui tempi di attesa e sui motivi dell'arresto del treno sono molto scarse.

In centrale operativa gli addetti realizzano che un treno è in ritardo quando la sua posizione non corrisponde esattamente a quella indicata dal diagramma di traccia oraria. Queste analisi non vengono effettuate automaticamente in tempo reale perché il materiale da consultare è cartaceo e perché la posizione del treno è nota soltanto quando il convoglio è in stazione oppure quando entra in una nuova sezione di blocco. Una volta realizzato che il treno non aderisce all'orario, gli addetti valutano l'entità del ritardo graficamente e non utilizzano modelli per prevedere l'orario di arrivo nella prossima stazione.

Il nostro software può invece facilmente confrontare in tempo reale l'aderenza all'orario di ogni treno. Queste informazioni potrebbero essere distribuite in tempo reale anche sui convogli e soprattutto sui TAF che possiedono dei pannelli a messaggio variabile. Altrettanto facilmente tutti questi dati potrebbero essere inviati regolarmente nelle stazioni ed essere diffusi attraverso i monitor, in alcuni casi già installati in stazione. Nelle stazioni prive di cartelli potrebbero essere installati dei video informativi oppure le informazioni potrebbero essere inviate nelle biglietterie che si preoccuperebbero poi di diffonderle agli utenti.

In particolare il nostro GIS, realizzato con MapObjects, può essere distribuito in Internet attraverso il modulo Internet Map Server. Questo consente una capillare diffusione delle informazioni (vedi figura 6.15).

Per quanto riguarda l'elaborazione e la diffusione delle informazioni si potrebbe prevedere una delle tre configurazioni qui di seguito elencate:

- *Stazione singola:* la centrale di controllo è realizzata con un solo computer che riceve le informazioni dai treni e le elabora;

- *Rete di computer con collegamento peer-to-peer:* in questo tipo di configurazione i computer sono collegati per mezzo di una rete LAN (Local Area Network) e i dati dei treni sono distribuiti su più terminali;
- *Rete di computer con architettura client-server:* vi è un computer server e più computer client; le informazioni e le applicazioni sono memorizzate sul server e i client possono accedervi tramite una rete. Questa architettura è quella necessaria per diffondere i dati in Internet.

Sicuramente un sistema informativo efficiente permetterebbe alle FNM di offrire un servizio più competitivo soprattutto se si pensa che la compagnia deve anche fornire il collegamento Milano-Malpensa, significativo a livello europeo.

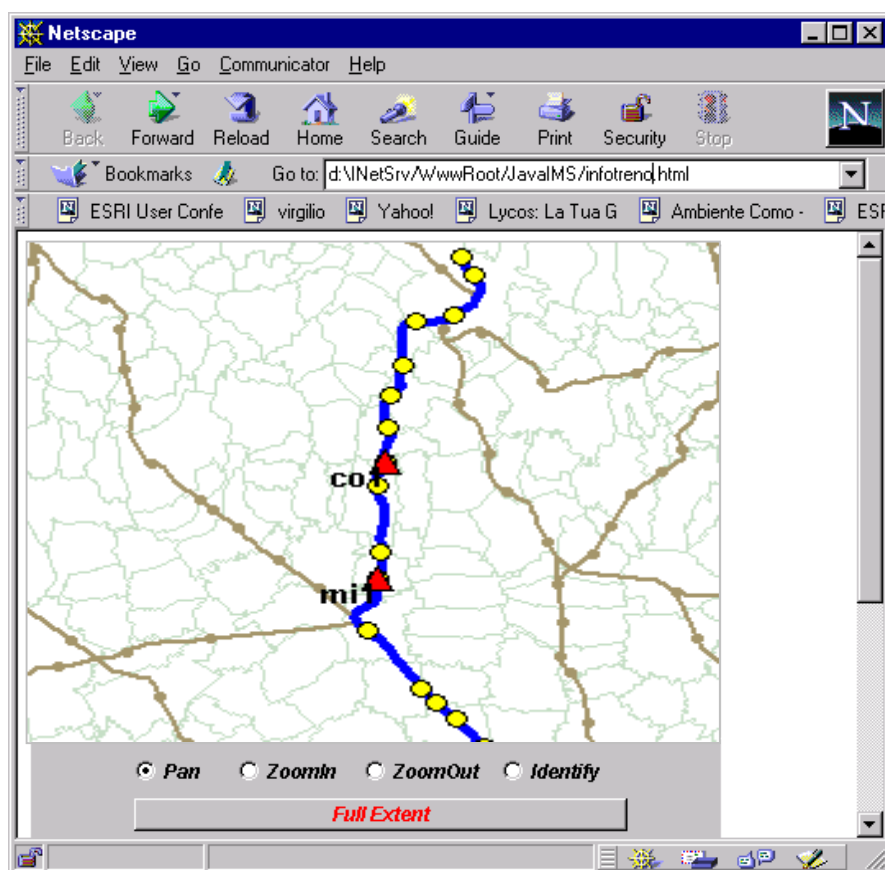



Figura 6.15 – Pagina Web con mappa riportante la posizione dei treni

6.8. Reperimento dei dati

La diffusione dei sistemi informativi geografci è andata di pari passo con quella del rilievo aereo, del *remote sensing* e della cartografia digitale. Il presupposto fondamentale per l'uso dei GIS è infatti la disponibilità di dati in formato digitale, organizzati e standardizzati. Nel trovarsi a sviluppare un'applicazione, abbiamo dovuto affrontare le problematiche di reperimento e omogeneizzazione delle informazioni, diverse a seconda del tipo di dati e dello scopo del loro utilizzo. Di seguito illustreremo come le abbiamo affrontate e risolte.

6.8.1. Cartografia digitale

L'accuratezza del posizionamento dei treni e il grado di affidabilità delle operazioni di individuazione delle infrastrutture ferroviarie, dipendono molto dalla precisione e dal dettaglio della cartografia utilizzata. Di pari passo i costi della cartografia crescono con il livello di dettaglio desiderato. Per questo motivo quando si lavora con dati territoriali occorre effettuare una sorta di analisi costi-benefici riguardo al loro reperimento. Come già anticipato a proposito dei rilievi per il catasto stradale, esistono due metodologie per affrontare il problema. Una è quella di utilizzare la cartografia digitale già disponibile emanata dagli enti territoriali preposti (Regione, Settore Trasporti e Mobilità, IGM) o già in possesso della compagnia ferroviaria, eventualmente integrata con quella commerciale. L'altra prevede una campagna di rilevamento topografico ad hoc della linea e delle infrastrutture al contorno, con i moderni strumenti disponibili (GPS, telecamere digitali, ecc.). I due metodi, tra l'altro, non sono in contrasto tra loro: si può utilizzare la cartografia di inquadramento territoriale già esistente per la parte raster, mentre per i *layer* vettoriali specifici della rete ferroviaria, è possibile effettuare una campagna di rilevamento che serva anche a riferire le progressive chilometriche alle coordinate X, Y del sistema di riferimento cartografico.

Anche per quanto riguarda le metodologie di visualizzazione dei diversi tipi di cartografia e di integrazione con i disegni CAD o Microstation raffiguranti il dettaglio delle infrastrutture, abbiamo individuato due filosofie diverse. La prima è quella di creare due livelli: uno di visione d'insieme della rete ferroviaria, l'altro di dettaglio costruttivo delle infrastrutture. Nella visione di insieme le linee possono essere

schematizzate in archi congiungenti le stazioni (nodi), come visibile in figura 6.16, oppure evidenziate nella loro effettiva articolazione su una cartina topografica a scala adatta a coprire la loro estensione (figura 6.17); in entrambi i casi con successivi zoom si può arrivare fino ad evidenziare la singola linea e la composizione del livello di dettaglio (figura 6.18). In questo livello i particolari delle infrastrutture sono rappresentati con schemi sinottici (figura 6.19) e disegni CAD o Microstation (figure 6.20). Le figure 6.18, 6.19, 6.20 rappresentano successivi ingrandimenti della stessa porzione di linea. In particolare l'ultima mostra la posizione di alcune infrastrutture di segnalamento. La figura 6.21 mostra un disegno CAD con dettagli planimetrici delle infrastrutture di una stazione. In questo modo le mappe di dettaglio vengono manualmente referenziate alla linea, ma al loro interno, il sistema di riferimento usato rimane quello relativo del file CAD e non coincide con quello della cartografia a cui vengono sovrapposte.

Figura 6.16 - Mappa di inquadramento schematico della topologia di rete delle linee ferroviarie della compagnia olandese Railinfrabeheer, inserita nel GIS Infraatlas, per la gestione delle infrastrutture

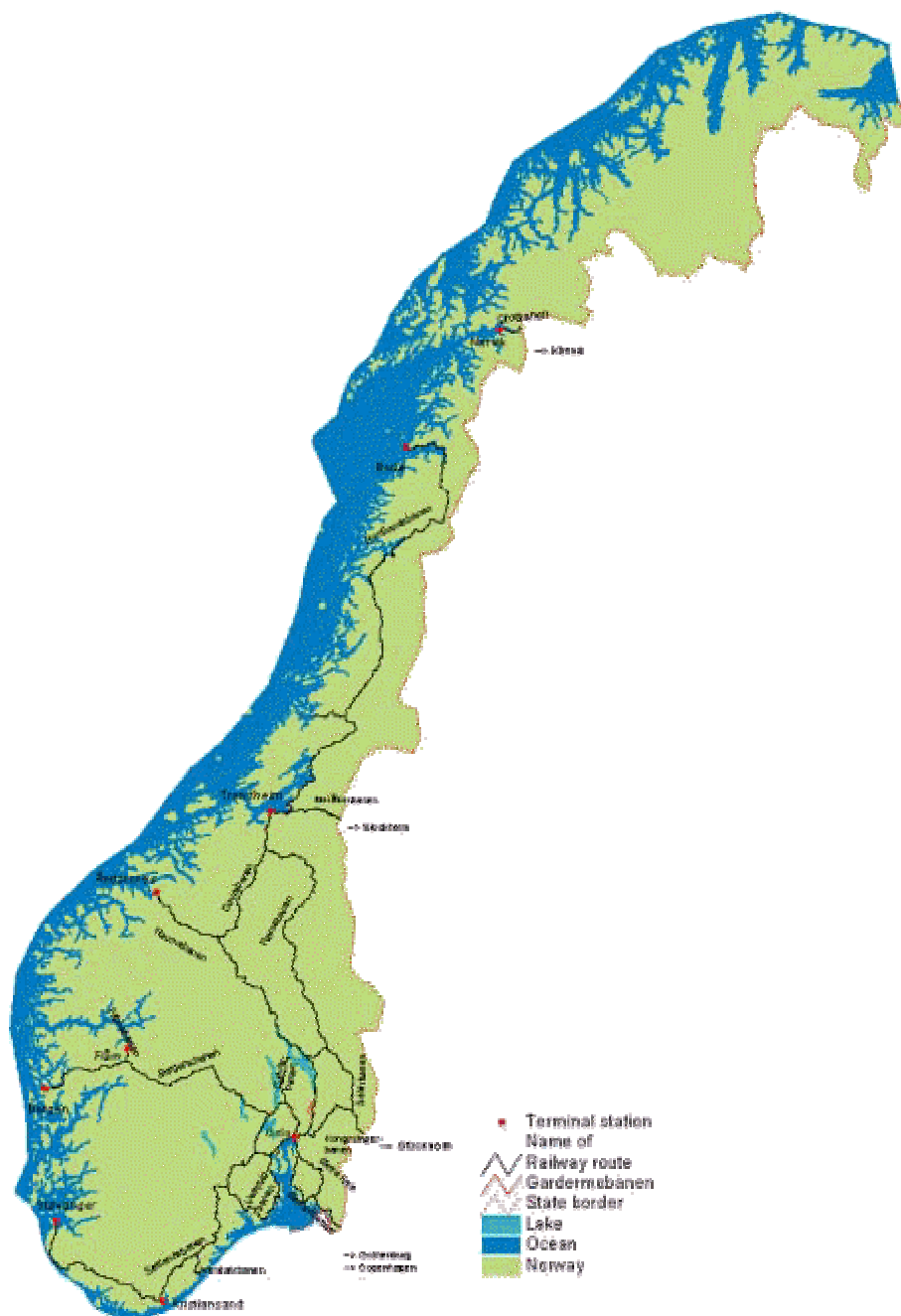



Figura 6.17 - Mappa topografica di inquadramento della topologia di rete delle linee ferroviarie della compagnia norvegese NNR (Norwegian National Railway)

La seconda metodologia affida la visualizzazione del dettaglio delle infrastrutture alla cartografia raster di sfondo, sia essa costituita da mappe topografiche digitali a bassa scala (figura 6.22) o da precisi rilievi aerei (figura 6.26). I disegni CAD

eventualmente disponibili possono essere in ogni caso richiamati mediante selezioni degli elementi sulla cartografia o su elenchi catastali delle infrastrutture. In questo modo non si perde mai il sistema di riferimento della cartografia e non si appesantisce il database in quanto i disegni dettagliati sono presenti solo come link. Inoltre il GIS non è costretto a caricare in maniera residente i *plugin* per la visualizzazione di oggetti CAD, ma solo in caso di richiesta esplicita da partedell'utente.

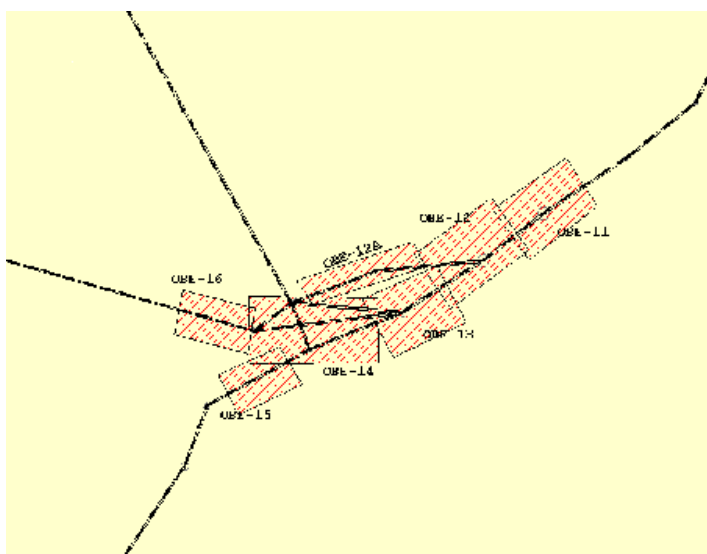



Figura 6.18 - Copertura discretizzata delle linee della compagnia olandese Railinfrabeheer con mappe dettagliate contigue e sovrapposte

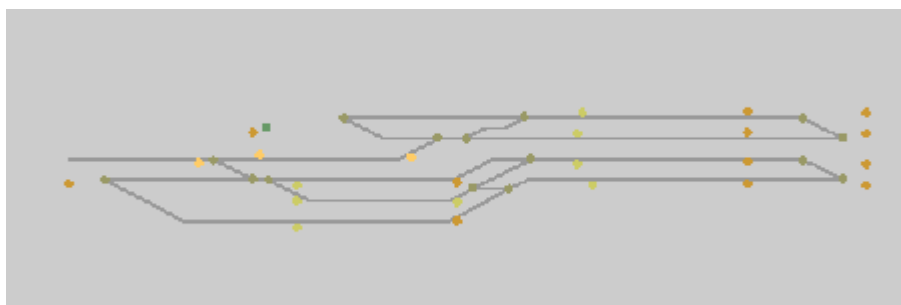



Figura 6.19 - Mappa dettagliata contenuta nel GIS Infraatlas, raffigurante un quadro sinottico della porzione di linea coperta

Tra i due metodi esposti abbiamo scelto il secondo per i seguenti motivi:

- MapObjects 1.2 non è in grado di visualizzare il formato DGN in cui sono stati salvati i disegni progettuali delle FNM, realizzati con il software Microstation. La

compatibilità con tale formato è stata aggiunta dalla versione 2.1 di MapObjects, uscita nel Febbraio 2000.

- La nostra applicazione non richiede questo elevato grado di dettaglio, in quanto non abbiano realizzato un catasto per la gestione delle infrastrutture. Una cartografia raster dettagliata infatti, serve ottimamente allo scopo di individuare la posizione dei treni, anche all'interno elle stazioni.
- La posizione lungo i binari delle infrastrutture importanti ai fini della circolazione ferroviaria (passaggi a livello, segnali e centraline) può essere rappresentata all'interno della finestra quadro sinottico da noi realizzata. In un secondo momento, a partire dalla posizione, si potrebbe inserire un link ai disegni progettuali, che comunque non sono a nostra a disposizione.

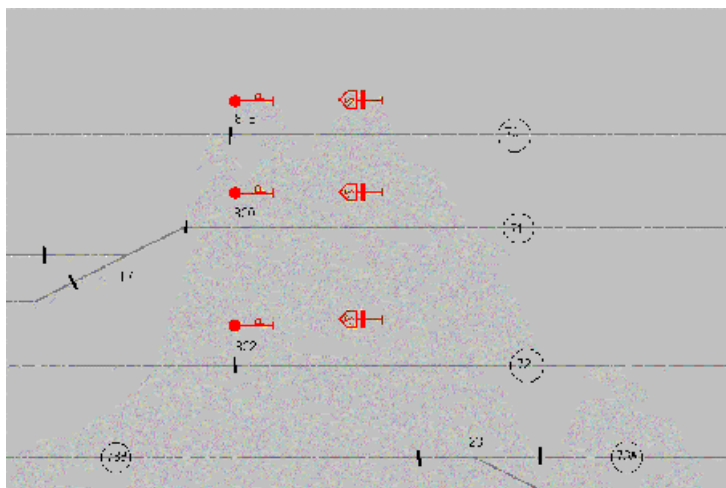



Figura 6.20 - Dettaglio ad elevato livello di zoom di un disegno CAD contenuto in Infraatlas

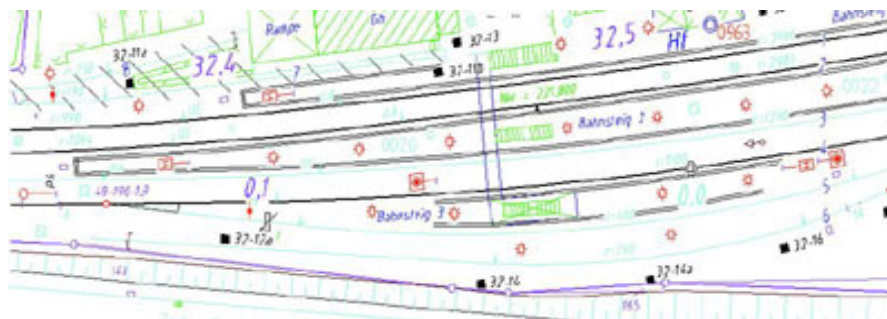



Figura 6.21 - Mappa dettagliata delle infrastrutture di contorno ad una porzione delle linee di Deutsche Bahn, ottenuta con un disegno CAD

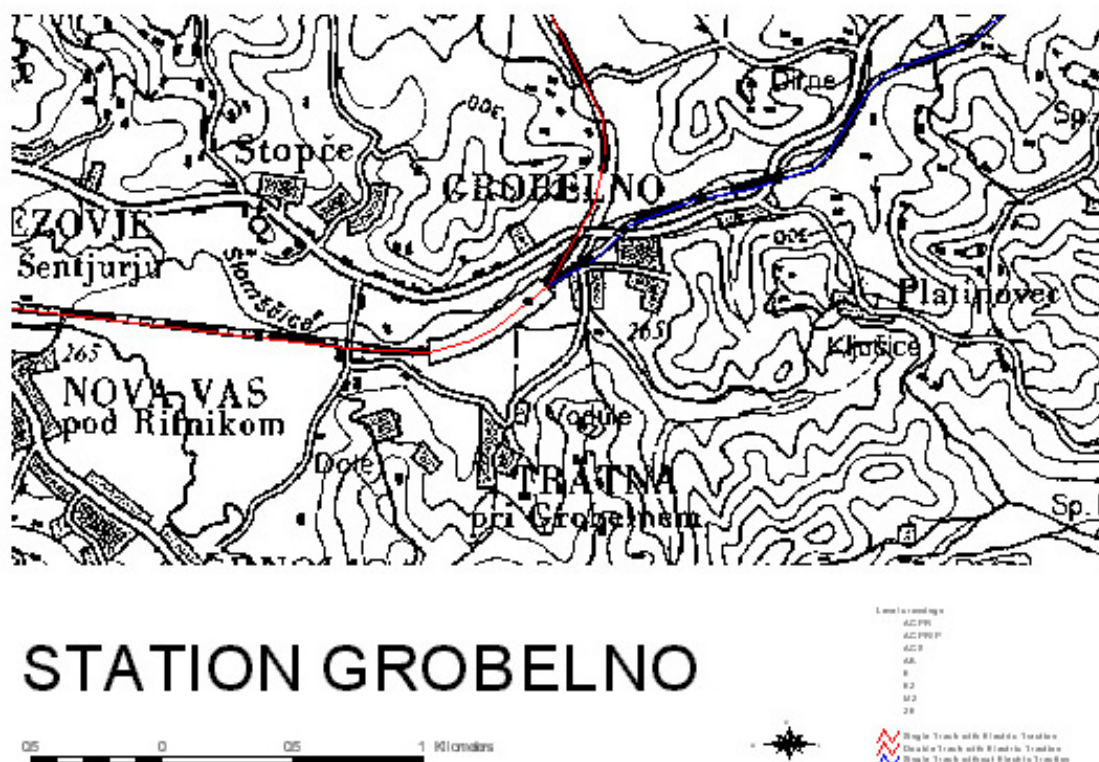



Figura 6.22 - Mappa raster per la visualizzazione delle infrastrutture e della topografia

Cartografia raster

Come cartografia raster di sfondo, abbiamo utilizzato alcuni fogli della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Lombardia, in modo da coprire l'intero tracciato della linea Milano-Como e le zone limitrofe. La carta, in scala 1:10000, è stata prodotta dalla Regione Lombardia nel 1985 e, solo in un secondo momento, è stata digitalizzata e georeferenziata (1996). La proiezione cartografica è trasversale di tipo Gauss Boaga West e la georeferenziazione è relativa al sistema di riferimento UTM. Il formato di digitalizzazione è .TIF e i file di georeferenzizione hanno estensione .TFW. I fogli inseriti sono elencati in tabella 6.1, rispettando la loro disposizione, mentre in figura 6.23 è visualizzabile la porzione di territorio rettangolare che ne risulta coperta (circa 60 Km in verticale per 32 Km in orizzontale).

A4 E4	B4 A4	B4 B4	B4 C4
A4 E5	B4 A5	B4 B5	B4 C5
A5E1	B5 A1	B5 B1	B5 C1
A5 E2	B5 A2	B5 B2	B5 C2
A5 E3	B5 A3	B5 B3	B5 C3
A5 E4	B5 A4	B5 B4	B5 C4
A5 E5	B5 A5	B5 B5	B5 C5
A6 E1	B6 A1	B6 B1	B6 C1
A6 E2	B6 A2	B6 B2	B6 C2
A6 E3	B6 A3	B6 B3	B6 C3
A6 E4	B6 A4	B6 B4	B6 C4
A6 E5	B6 A5	B6 B5	B6 C5

Tabella 6.1 - Disposizione dei fogli della CTR

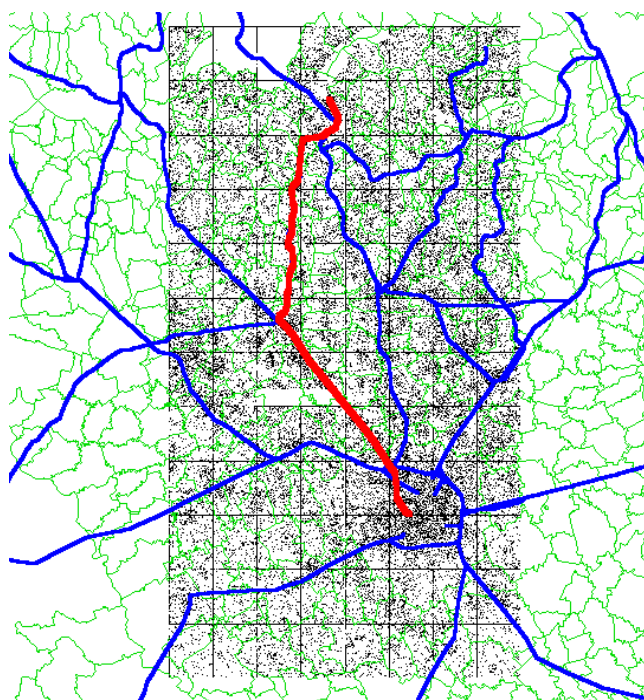



Figura 6.23 - Fascia di territorio intorno alla linea coperta dalla cartografia raster tratta dalla CTR 1:10000 della Regione Lombardia

Allo scopo di dare un'idea del dettaglio raggiungibile con la CTR utilizzata, riportiamo nelle figure 6.24 e 6.25 alcuni particolari.

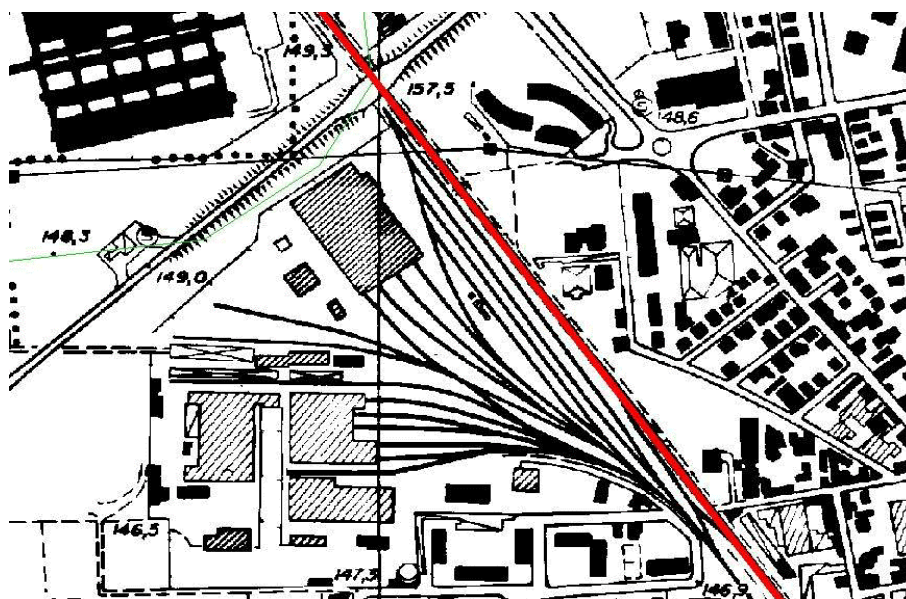



Figura 6.24 - CTR 1:10000, dettaglio del deposito treni di Novate Milanese; si può notare, in rosso, un layer delle linee ferroviarie

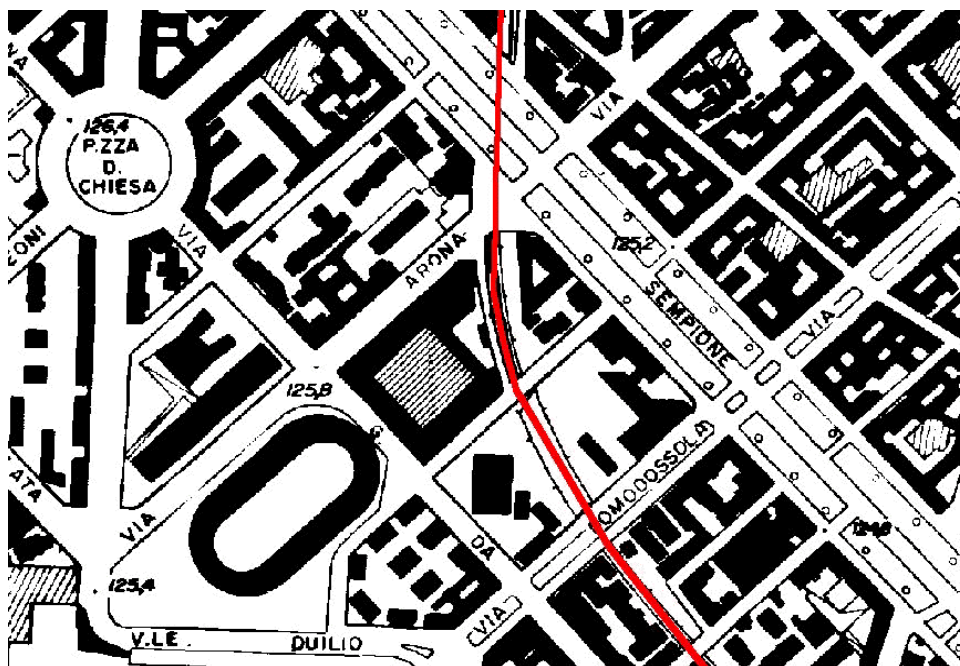



Figura 6.25 - CTR 1:10000, dettaglio di un tratto urbano delle FNM

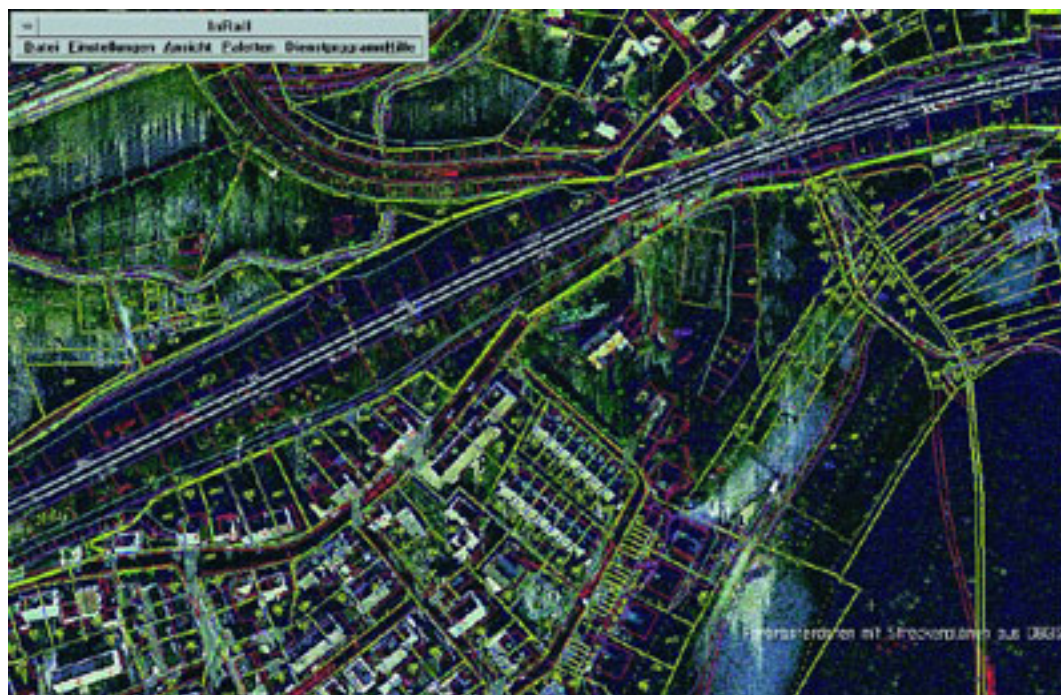



Figura 6.26 - Ortofoto utilizzata come sfondo raster nel DB-GIS di Deutsche Bahn

Da rilevare infine, che le FNM non dispongono di cartografia raster in formato digitale, ma nel 1996, hanno acquistato dalla Regione Lombardia alcune ortofoto in scala 1:10000 che coprono tutte le linee della compagnia. Tali fogli, in formato cartaceo

A2, vengono utilizzati per l'individuazione delle vie di accesso ai binari e dei posti di soccorso pubblico, in caso di emergenza. Un processo di digitalizzazione di queste foto aeree, atto al loro inserimento come cartografia raster di sfondo nel GIS da noi realizzato, contribuirebbe notevolmente ad uno sveltimento delle procedure di consultazione e di decisione dei provvedimenti del caso. Ciò a prescindere dalle funzioni di ricerca spaziale sviluppabili: la sola consultazione da computer risulta comunque più veloce dell'individuazione del foglio cartaceo giusto all'interno di grossi schedari. Le figura 6.26 mostra la cartografia aerea utilizzata da Deutsche Bahn per l'individuazione delle infrastrutture ferroviarie, mentre le figure 6.27 e 6.28 mostrano la sovrapposizione di un *layer* vettoriale ad ortofoto così come avviene nel GIS delle compagnie ferroviarie SRC (Slovenian Railway Company) e FGC (Ferrocarils de la Generalitat de Catalunya).

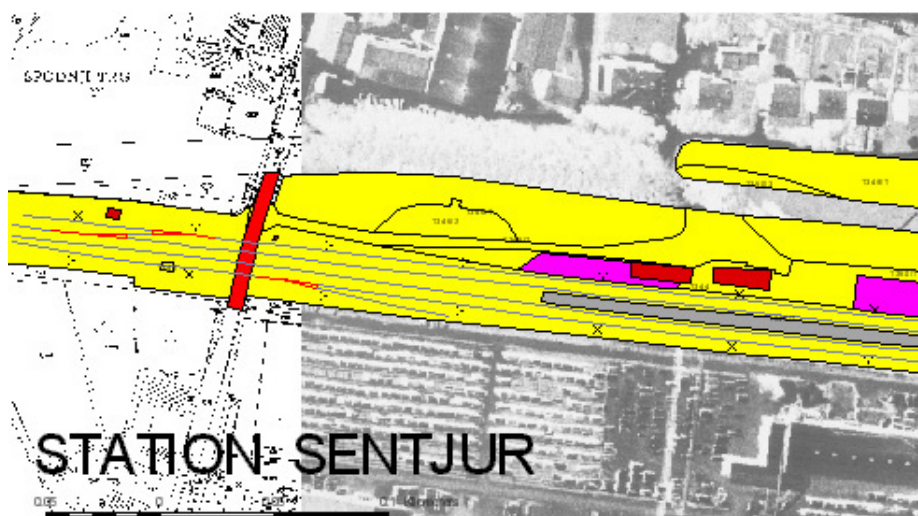



Figura 6.27 - Sovrapposizione di layer vettoriali a cartografia aerea nel GIS della compagnia ferroviaria slovena SRC

Cartografia vettoriale

Per ovvi motivi di disponibilità economica non è stato possibile effettuare una campagna di rilievo topografico della linea ferroviaria, quindi si è dovuto procedere a reperire la cartografia vettoriale esistente. Le FNM non dispongono di nessun tipo di cartografia digitalizzata, il che risulta logico, dato che non fanno uso di sistemi informativi geografici. Le mappe vettoriali utilizzate sono quelle messe a disposizione

sul sito Internet della sede di Como del Politecnico: http://pc-ambiente.como.polimi.it/ (in formato File Export di ARC/INFO (.E00)) scaricabili a scopi didattici.

Figura 6.28 - Sovrapposizione di un layer vettoriale rappresentante una linea ferroviaria della compagnia spagnola FGC ad una ortofoto in scala 1:50000.

In particolare sono stati utilizzati i seguenti *layer* con estensione territoriale pari a quella della regione Lombardia, georeferenziati nel sistema Gauss Boaga West:

- Limiti amministrativi in scala 1:250000 (confini comunali, provinciali, regionali e di stato della Regione Lombardia). Sono inoltre presenti nel database i nomi dei comuni, i codici ISTAT e l'indicazione delle isole amministrative.
- Rete ferroviaria in scala 1:250000 (FS, FNM, cremagliere).
- Stazioni ferroviarie in scala 1:250000.
- Aree idriche dei laghi e dei principali fiumi della Regione in scala 1:250000. Sono presenti i nomi dei laghi e dei principali fiumi.

In figura 6.29 sono riportati i 4 *layer* sovrapposti nella loro massima estensione.

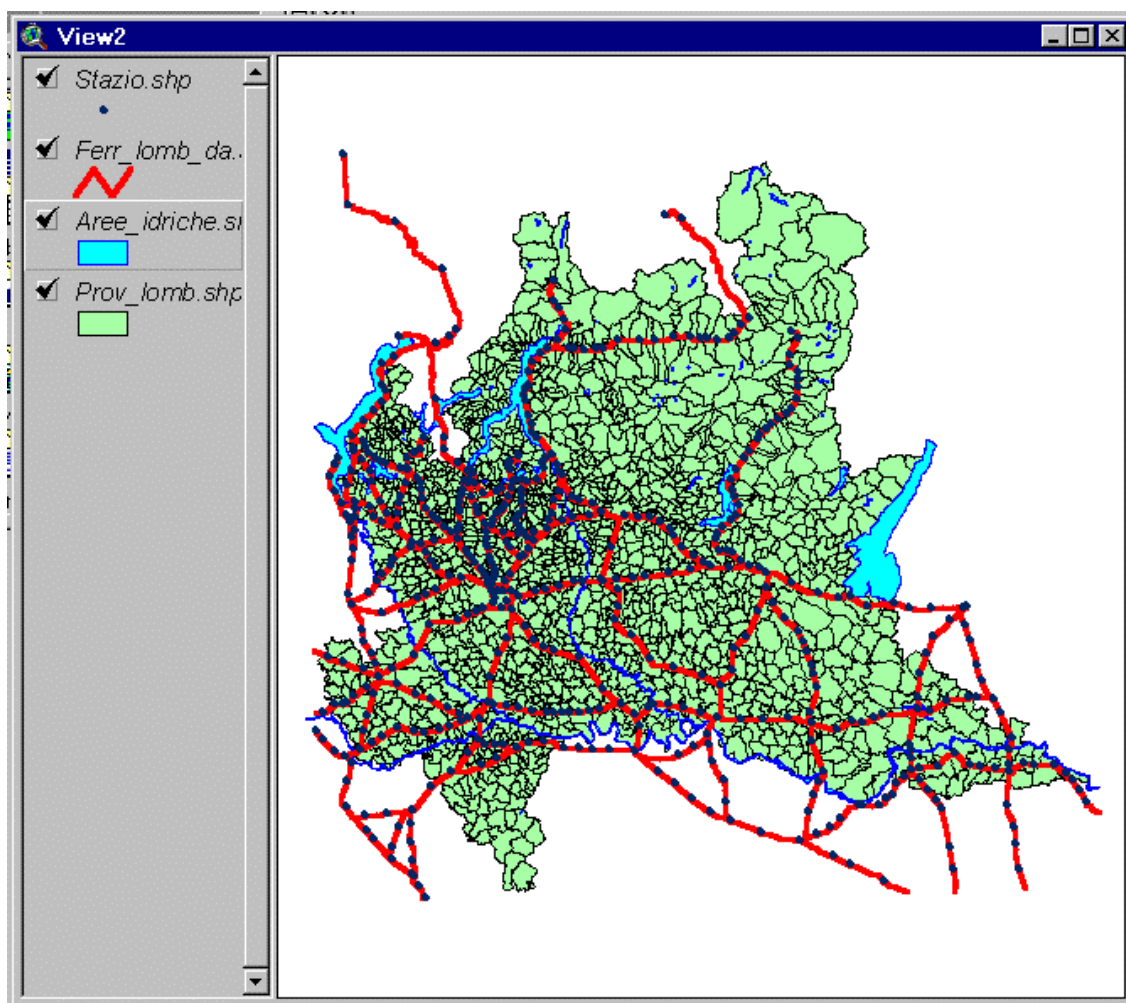



Figura 6.29 - Layer vettoriali rappresentanti i limiti amministrativi, le aree idriche, le linee e le stazioni ferroviarie della Regione Lombardia

Il formato E00 di ARC/INFO serve per lo cambio dei dati tra i vari GIS commerciali. Ogni software GIS è dotato di programma per convertire i file di interscambio nel formato appropriato. In particolare per i prodotti della ESRI esiste un programma shareware che si chiama Import71 in grado di generare SHAPE FILE (.shp) a partire dal formato E00. Il file di estensione .shp, in realtà non contiene tutti i dati che provengono da quello E00, ma solo quelli di geometria degli oggetti. Gli altri sono memorizzati in due file differenti: il database (.dbf IV) contiene gli attributi e l'indice (.shx) contiene le posizioni relative e la georeferenzizione. Da rilevare che ogni shapefile può contenere

solo un tipo di oggetto grafico (punti, segmenti o spezzate di linee, poligoni), ad esempio le aree idriche sono viste come poligoni, mentre le linee ferroviarie come una linea spezzata costituita da archi e nodi. Tutte le mappe scaricate sono state convertite in shapefile con il programma Importt71 utilizzato in ambiente ArcView.

Sempre tramite l'ausilio di ArcView 3 abbiamo riscontrato che, sovrapponendo i layer vettoriali delle stazioni e delle linee ferroviarie sulla CTR raster, non vi era una perfetta corrispondenza tra le due cartografie. In pratica la spezzata vettoriale delle linee ferroviarie non coincideva con la loro rappresentazione nella CTR (vedi figura 6.30). Questo problema può essere dovuto al fatto che la cartografia vettoriale di Ambiente Como è stata digitalizzata su un raster a scala 1:250000, mentre la CTR è in scala 1:10000. Infatti l'errore non è tanto nel discostamento, di entità mai superiore ai 20 m e riscontrabile solo a livelli molto elevati di zoom (vedi figura 6.30), ma nella rappresentazione della geometria della linea ferroviaria: il *layer* vettoriale presenta una spezzata poco dettagliata che non riesce a riprodurre le curve così come sono

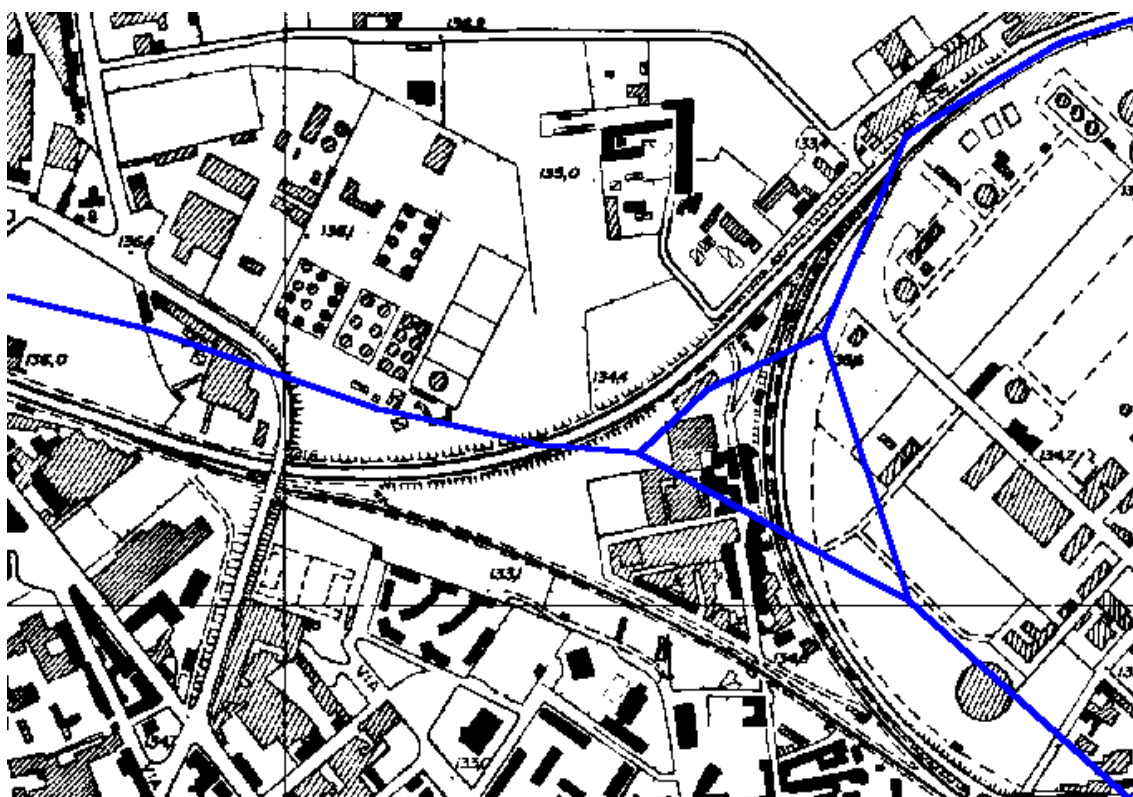



Figura 6.30 – Discostamento del layer in formato vettoriale delle linee ferroviarie dalla cartografia raster

rappresentate nel raster. Questa perdita di accuratezza costituiva un problema in primis visivo, avendo scelto nella nostra interfaccia di visualizzare la CTR fino ad elevati livelli di zoom, in secundis di precisione del posizionamento dei treni che avviene in base al vincolo della linea ferroviaria (*map matching*). Se il primo poteva essere trascurato, abbiamo ritenuto che fosse di fondamentale importanza risolvere il secondo, per migliorare la precisione del *map matching* e per non perdere, in questa fase, preziose informazioni fornite dai ricevitori GPS. Il rischio infatti è che una mappa poco precisa peggiori la qualità del posizionamento introducendo un errore maggiore di quello del GPS, mentre gli scopi del *map matching* sono opposti.

Al fine di ovviare al problema, abbiamo condotto una ricerca in Internet, inizialmente sul materiale; non avendone trovato ci siamo rivolti alla società Teleatlas, leader della produzione di cartografia digitale a livello europeo e fornitrice ufficiale delle mappe per la navigazione assistita con Viasat. Sono stati così acquisiti i layer vettoriali riguardanti le linee ferroviarie dei comuni di Milano, Saronno Varese e le relative stazioni. Le mappe che abbiamo ottenuto gratuitamente dalla Teleatlas sono state estratte dalla cartografia denominata Multinet, normalmente utilizzata per la navigazione assistita o la localizzazione di autoveicoli. A causa della propria destinazione d'uso, questa cartografia è molto precisa nella descrizione del reticolo stradale, soprattutto in zone urbane dove l'accuratezza è submetrica. Al contrario i *layer* delle ferrovie e delle stazioni, non hanno molta rilevanza ai fini della Teleatlas, quindi non raggiungono questo grado di precisione. Tuttavia, le ferrovie sono state digitalizzate proprio su cartografia in scala 1:10000, il che consente di sovrapporre perfettamente questi *layer* vettoriali alla CTR a nostra disposizione.

Partendo dal reticolo ferroviario delle tre provincie attraversate dalla linea Milano-Como si è dovuto creare un unico shapefile che la contenesse interamente. Allo stesso modo, tramite l'editor di ArcView, si è proceduto per creare il layer delle stazioni presenti sulla linea ferroviaria interessata dal progetto. L'intero layer del reticolo ferroviario lombardo, è stato modificato solo per la parte compresa nella fascia di territorio sotto la quale è presente la cartografia raster ed in particolare per le tre province di Milano, Varese e Como. In pratica le porzioni di rete di cui si possedevano

migliori digitalizzazioni sono stati sostituite ed il raccordo è stato fatto manualmente sulla base della CTR.

Per dare un'idea del miglioramento introdotto con questa operazione, nella precisione del map matching, segnaliamo che la la spezzata rappresentante la linea ferroviaria Milano-Como nel vecchio *layer* vettoriale era composta da 82 nodi e 81 segmenti, mentre nel nuovo è formata da 513 nodi e 512 segmenti. La procedura di quantificazione del numero di segmenti e d'individuazione delle coordinate dei nodi è stata implementata in Visual Basic sfruttando l'oggetto *Recordset* della collezione di MapObjects, infatti tali informazioni non erano presenti come attributi nei file dbf e quindi non erano direttamente consultabili. Questa operazione è stata quindi fondamentale per migliorare la precisione di posizionamento, che si basa sull'individuazione del segmento di linea a minor distanza dal punto indicato dal ricevitore GPS.

Infine segnaliamo la procedura di creazione del quadro sinottico che è stato realizzato interamente con ArcView mediante la costruzione di *layer* vettoriali di tipo .shp. Abbiamo deciso di utilizzare questo formato per due motivi:

- Il formato vettoriale risulta più snello nelle operazioni di caricamento che non eventuali disegni raster realizzati in Visual Basic.
- L'IMS di MapObjects, che permette di distribuire la finestra della nostra applicazione in rete Intranet o Internet, consente il facile trattamento dei dati cartografici, ma non fornisce nessuna funzione per visualizzare in una pagina web gli altri elementi sviluppabili in Visual Basic.

Per questi motivi il quadro sinottico, è stato realizzato all'interno di una finestra di tipo mappa ed è formato da *layer* vettoriali. In particolare lo schema rappresentante la linea ferroviaria è stato realizzando mediante uno *script* di ArcView in linguaggio AVENUE, di nome *GPS2Shape.* Il programma consente di generare *shapefile* di tipo linea a partire dall'unione di punti le cui coordinate sono contenute in file di testo (.txt) ipoteticamente generati da un ricevitore GPS. Nota la lunghezza totale della tratta Milano-Como e la posizione delle stazioni lungo la linea, individuata dal chilometro progressivo, abbiamo costruito il sinottico generando opportune serie di coordinate. Ad esempio la parte superiore (vedi figura 6.31) è stata generata con Y costante e X variabile in funzione del

chilometro progressivo delle stazioni. Successivamente i *layer* di tipo linea sono stati uniti in un'unica mappa in modo da essere caricati più velocemente.

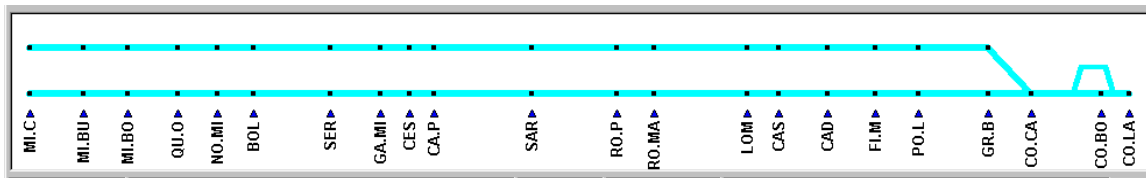



Figura 6.31 - Quadro sinottico realizzato con la sovrapposizione di layer vettoriali di tipo linea per le tratte ferroviarie e di tipo punto per le stazioni

Questo metodo molto semplice ci ha evitato di dover creare una funzione per mettere in corrispondenza i chilometri progressivi sulla linea con l'ascissa curvilinea costruita su un ipotetico disegno schematico. La creazione di tale funzione aveva richiesto un grosso lavoro ai programmatori della KNOSOS all'atto della creazione del sinottico per la centrale di controllo di Sant Boi di FGC. Nel nostro caso la corrispondenza tra le chilometriche progressive sulla linea reale e sul quadro sinottico è biunivoca: la proporzionalità è diretta di fattore 1 e non ci sono conversioni da effettuare via software. Da rilevare inoltre che qualora si dovesse inserire la posizione dettagliata di tutte le infrastrutture ferroviarie, nonché la suddivisione in tratte di blocco automatico, le distanze sarebbero perfettamente reali e quindi le proporzioni verrebbero rispettate.

6.8.2. I dati GPS

Non disponendo di un ricevitore GPS atto ad effettuare prove sul campo, le serie di dati GPS relative alla simulazione effettuata sono state generate sinteticamente, partendo dall'orario ufficiale fornitoci gentilmente dalle FNM. Abbiamo cioè preso in considerazione le velocità medie di tratta e l'orario d'arrivo, partenza e transito nelle stazioni e perturbato le corrispondenti posizioni sulla linea con un errore casuale di 10 m. Tale errore corrisponde alla precisione di posizionamento fornita il 95% delle volte dal ricevitore GPS scelto. Da rilevare che i dati in uscita dal ricevitore GPS si presentano sottoforma di un file di testo ASCII in formato NMEA contenente orario di rilevazione, coordinate X, Y, Z nel sistema di riferimento WGS84, velocità, angolo di marcia rispetto al Nord, numero di satelliti visibili e indice di geometria PDOP. I file di

testo che arrivano in input al GIS, invece, contengono il codice identificativo del treno, l'orario della rilevazione e le coordinate X, Y nel sistema di riferimento UTM. Ciò implica l'ipotesi che il firmware del controller installato sul treno associ al messaggio il codice del treno prima di inviarlo tramite radiomodem alla centrale di controllo e, soprattutto, che a monte del GIS le coordinate spaziali vengano convertite dal sistema WGS84 a quello UTM attraverso i numerosi passaggi descritti nel capitolo 1. A tal fine esistono vari software shareware e commerciali, che molto spesso vengono distribuiti direttamente con i ricevitori GPS o sono integrati con i programmi di gestione delle porte seriali dalle quali vengono ricevuti i dati GPS.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

In questa tesi è stata presentata una descrizione delle funzionalità dei sistemi di posizionamento satellitare GPS, dei sistemi informativi geografici GIS per la pianificazione dei trasporti e dell'uso integrato delle due tecnologie per la localizzazione automatica dei veicoli (AVL). In particolare è stata studiata la loro applicazione nel settore ferroviario ed è un stato realizzato un progetto di AVL per il monitoraggio dei treni delle Ferrovie Nord Milano (FNM).

Contributo di carattere analitico

L'uso degli AVL, in ambito ferroviario, non è così diffuso come nella gestione di flotte di autoveicoli. Gli obiettivi che guidano le scelte delle aziende di trasporto pubblico, sono tuttavia gli stessi che debbono orientare le compagnie ferroviarie: miglioramento dell'efficienza e della qualità del servizio fornito. Per raggiungere questi obiettivi, occorre disporre di grandi quantità di informazioni sullo stato della flotta, che debbono essere trattate e diffuse in tempo reale. I motivi per i quali l'uso integrato delle tecnologie GPS e GIS si è rivelato, nell'ultimo quinquennio, un metodo adatto a soddisfare le esigenze delle aziende di trasporto, sono molto semplici. Da un lato l'uso congiunto del sistema di posizionamento satellitare GPS con una rete di radiocomunicazioni, consente di raccogliere, con la precisione necessaria, i dati sulla posizione dei veicoli, anche in ambiente urbano. Dall'altro, le caratteristiche e le funzionalità dei moderni software GIS e dei relativi database territoriali, possono assolvere al triplice compito di immagazzinare, elaborare, e diffondere all'utenza i dati necessari alla gestione in tempo reale del servizio. Un sistema informativo geografico, inoltre, offrendo numerose funzionalità di analisi territoriale e di rete, comporta l'ulteriore vantaggio di supportare le attività di pianificazione del servizio.

A livello generale è stata condotta un'analisi comparata tra le più importanti applicazioni degli AVL in ambito ferroviario, ovvero:

- Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (Spagna), (FGC);
- West Coast Express (Canada), (WCE);
- Burlington Northern (Stati Uniti), (BN);
- ScotRail (Scozia), (SR);

- Freight FreeWays (Europa), (FFW).

Tale analisi ha portato a concludere che l'applicazione di FGC è decisamente la più completa, tanto da risultare l'alternativa "dominante" in base a sei indicatori individuati; pertanto questo caso rappresenta la migliore sorgente di informazioni ed è stata assunto come riferimento principale.

Contributi di carattere applicativo

A livello applicativo, questa tesi ha portato alla progettazione di un sistema AVL per le FNM, in particolare all'implementazione di un'interfaccia GIS (***Infotreno 1.0***) per gli operatori del Posto Centrale Movimento di Saronno, ove viene monitorata la flotta dei treni circolanti. In pratica il programma di gestione flotte implemetato, offre una dimostrazione del ruolo e delle potenzialità delle applicazioni GIS all'interno di un sistema AVL.

La progettazione di ***Infotreno 1.0*** ha permesso l'individuazione di una serie di miglioramenti certi, che possono essere riassunti brevemente nello sviluppo delle seguenti nuove potenzialità.

- Posizionamento dei treni all'interno delle sezioni di blocco automatico con buoni livelli di precisione (10m il 95 % dei casi);
- identificazione dei treni in movimento mediante visualizzazione a video dei codici associati;
- monitoraggio della velocità di ogni convoglio in tempo reale;
- monitoraggio automatizzato del rispetto della tabella oraria;
- previsione dell'orario di arrivo nelle stazioni;
- distribuzione delle informazioni disponibili all'utenza in tempo reale (via Web);
- possibilità di effettuare alcune analisi territoriali.

In particolare il programma, con la sua semplice interfaccia grafica, è adatto, sia ad essere utilizzato dagli operatori della centrale di controllo di Saronno, sia ad essere distribuito in rete Intranet o Internet. In questo modo, il grado di diffusione e la facilità di consultazione delle informazioni riguardo lo stato della flotta, raggiungono un livello ottimale; infatti l'attuale sviluppo della rete Internet consente la distribuzione capillare delle informazioni ad una grande varietà di periferiche: dagli operatori FNM, alle utenze private. Questa potenzialità di distribuzione può essere sfruttata grazie agli strumenti di

sviluppo utilizzati per implementare l'interfaccia GIS: *Visual Basic e MapObjects,* quest'ultimo dotato di *Internet Map Server.*

Costi

Una valutazione complessiva dei vantaggi operativi per le FNM, derivanti dall'adozione di un AVL, non può prescindere da alcune considerazioni riguardo agli investimenti necessari per l'utilizzo del sistema progettato. Per quanto riguarda le componenti montate sui locomotori (ricevitore GPS, radiomodem, terminale alfanumerico ed antenne), i costi di installazione si aggirano sui 10-15 milioni di Lire per ogni unità. Utilizzando la tecnologia GSM, la parte dell'investimento dedicata alla rete di comunicazioni, sarebbe alquanto contenuta; in particolare se si sfruttasse la rete virtuale TIM di cui nel 1999 si è dotata la compagnia, sarebbe limitata ai soli costi di trasmissione dei dati. L'aggiunta al software sviluppato di un modulo per la gestione delle comunicazioni e della messaggistica e di un catasto delle infrastrutture ferroviarie, può essere valutata, per la linea in esame, ad un costo di 5-10 milioni di Lire (Luis Perez[1], comunicazione personale, 1999). Per quanto riguarda l'hardware di base da installare al PCM di Saronno, basterebbe un moderno PC PENTIUM, dotato di molta RAM, del costo non superiore ai 5 milioni di Lire.

I costi necessari per implementare il sistema AVL progettato, sono certamente limitati, quindi, a ragion di logica, le FNM dovrebbero provvedere ad aggiornare il loro sistema informativo-gestionale. Attraverso alcuni incontri effettuati presso la centrale operativa delle FNM, al contrario, abbiamo riscontrato uno scarso interesse a sviluppare sistemi di questo tipo, se non sulla linea Milano-Malpensa. Questa tratta, infatti, ha un ad alto valore di immagine per il traffico internazionale di passeggeri che ogni giorno la utilizza. Probabilmente questo è dovuto al fatto che, per motivi legislativi, l'attuale sistema di posizionamento e messa in sicurezza dei treni, non potrebbe comunque essere sostituito, ma solo affiancato dall'AVL.

[1] Josè Luis Perez, titolare della società di ingegneria delle telecomunicazioni KNOSOS, che ha realizzato nel 1997 il sistema AVL per la compagnia ferroviaria FGC (si veda il paragrafo 4.2).

Prospettive

Infotreno 1.0, può essere installato ed utilizzato dal PCM di Saronno anche solo con le caratteristiche attuali. Tuttavia potrebbe essere integrato con un modulo di gestione della messaggistica treno-terra e, soprattutto, si potrebbe completare il lavoro di digitalizzazione e schematizzazione delle linee in un quadro sinottico. Questo lavoro comprenderebbe la creazione di un catasto informatizzato delle infrastrutture ferroviarie (passaggi livello, segnaletica, ecc.) e la divisione dei binari in sezioni di blocco da visualizzare nella finestra quadro sinottico del programma.

Sottolineiamo che l'applicazione realizzata ha validità generale, in quanto gli algoritmi sono in grado di trattare la ricezione dei dati da parte di una flotta formata da un numero imprecisato di treni. In pratica il software non è legato alla situazione simulata: variando i dati in ingresso, i calcoli e le elaborazioni effettuate dal programma, mantengono la loro validità in quanto le uscite a video vengono adattate ai file GPS in input. Per quanto riguarda il dominio geografico, il programma implemetato, è in grado di funzionare con qualsiasi cartografia nel formato adatto, quindi può lavorare su qualunque linea ferroviaria. In questo senso, potrebbe essere facilmente esteso al monitoraggio dei treni dell'intera rete FNM.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1989), “El Transport dels ferrorarils a Catalunya”, Generalitat de Catalunya.

AA.VV. (1996), "*Sintesi del Plá de Actuació 1996-1998 dels FGC*”, Generalitat de Catalunya.

AA.VV. (1998), “*Memoria dels FGC*”, ATM Autoritat Transporte Metropolitano, Barcelona.

AA.VV. (1999a), “*Galileo Global Satellite Navigation Service for Europe”,* atto prodotto da European Commission e European Space Agency.

AA.VV. (1999b), “*Galileo – Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services”*, atto della conferenza European Commission, Bruxelles, 9 Febbraio 1999.

AA.VV. (1999c), *“Report Circolazione Treni”*, editi dalle FNM.

Ampélas André e Daguerregaray Michel (1999), "Paris public transit, the GPS difference", *GPSWorld*, Ottobre.

Arnstroem Magnus e Nesterlund Yngre (1999), "Un percorso flessibile per anziani ed handicappati", *Trasporti Pubblici,* n°9.

Ascenzi Alberto e Tanzi Giancarlo (1999), "Il software STONE per la manutenzione programmata delle opere d'arte stradali", *MondoGis,* n°17.

Baj Elena (1999), “Da Galileo ad Harrison… al Sistema GPS”, *notiziario dell’ordine degli ingegneri delle provincia di Milano*, n°9.

Beckert Stephan (1999), "AVL and telematics, a market outlook", *GPSWorld*, aprile.

Besson Catherine (1999), “Mobility is fun! In Fusio and Webraska join forces to create the first WAP location-based games”, *Press Release Webraska,* novembre.

Biallo Giovanni (1996), "I GIS un potente strumento al servizio della società", *MondoGis*, n°2.

Biallo Giovanni (1998), "Il GIS per le amministrazioni comunali", *MondoGis,* n°13.

Biallo Giovanni (1999), "Il mondo dei sistemi informativi geografici", documento prodotto da MondoGis*,* http.// www.mondogis.it [ultimo accesso il 16 12 1999].

Bongiana Riccardo (1998), "Il sistema europeo do controllo-comando dei treni E.T.C.S:", integrazione al corso di Terminali e impianti di trasporto al Politecnico di Milano.

Bonini Annalisa (1999), "La gestione informatizzata delle reti stradali: il caso dell'autostrada A21", *MondoGis,* n°14.

Brackman Pascal e Karsten Harms e altri (1998), "Suitability of Aerial and satellite imagery for geometrical data acquisition for road navigation map", *GIS Geo-ingormations systeme,* n°5.

Brewington Jason e Fitzgerald Jeffrey (1997), *"A Rail Crossing Inventory GIS and Decision Support for the North Carolina Department of Transportation"*, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.

Brich Stephen e altri (1998), *"Decision Support Software for Real-Time Route Deviation Transit Servic" ,* atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.

Brunner Gisela e Schoedl Silke (1998), *"Austrian rail develops GIS database for country-wide track network"*, documento interno della Intergraph.

Brunner Gisela e Schoedl Silke (1999), *"Route network model case: new information technology at Deutsche Bahn AG"*, documento interno della Intergraph.

Camicia Sandra e Sartore Mariano (1998), "Mobilità e territorio. Forme di interazione quotidiana", *MondoGis,* n°12.

Camirro Marco (1999), "Gestione delle emergenze: un occasione per l'applicazione delle tecnologie GIS", *MondoGis,* n°17.

Campbell John (1998), “Making traks: can GPS lure riders to the rails?”, *GPSWorld,* novembre.

Carbone e Gattuso (1998), "Un GIS a supporto della gestione del trasporto pubblico urbano", *MondoGis,* n°12.

Carbone e Gattuso (1999), "Accessibilità territoriale e domanda di trasporto pubblico: un modello di analisi", *MondoGis,* n°17.

Carlucci Renzo (1998), “L’integrazione di remote sensing GIS e GPS”, *Geo Media*, gennaio-febbraio.

Castiglioni Luca e Romani Fosca (1999), “Strategie di risoluzione dei guasti su una linea ferroviaria a doppio binario”, Tesi di laurea – Politecnico di Milano.

Ceppi Pierluigi e Vanoli Sergio (1999), “ Trasmissione dati treno-terra per il controllo della tratta Milano-Como mediante GPS”, Tesi di laurea – Politecnico di Milano.

Chincoli Paola (1999), "Treno in ritardo: Eurostar localizzato con il cellulare*", Corriere della Sera*, 11 Novembre 1999.

Coccia e Mallamo (1996), "L'osservatorio della mobilità nella regione Umbria", *Trasporti e Trazione,* n°1.

Comani Cristina e Pagotto Adelio (1998), "La costruzione dei rispetti stradali previsti dal nuovo codice della strada mediante l’utilizzo di strumenti GIS", *MondoGis*, n°13.

Cometti Emanuela e Ratti Lucia (1997), “GIS e modelli per i trasporti e la mobilità in Regione Lombardia” *MondoGis,* n°8.

Cortellessa Carlo Michele e altri (1995),*“Breve introduzione ai sistemi informativi geografici”*, Franco Ziviani editore, luglio.

Craig Melissa e Stembridge Jim (1996), *"A Romantic Marriage of Convenient Transport"*, atti della Conferenza Europea Utenti ESRI.

Crane Todd e Eilenberg Jeff (1997), *"Locomotive 6724, Where Are You? Integration of GPS, Mobile Telemetry, and GIS Technologies in a Railroad Environment"*, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.

De Giusti Bruno (1998), *"Progetto di massima di un sistema di monitoraggio via radio come ausilio protesico e pedagogico per disabili intellettivi",* Tesi di Laurea – Politecnico di Milano.

Dovadola Michele (1999), "Il sistema informativo stradale ALICE per la Provincia di Genova", *MondoGis,* n°17.

Faggioni Ruggero e Mastrangelo Valdo (1999), *"Il SIT ATAC, un approccio integrato",* atti della Conferenza Italiana Utenti ESRI, Roma.

Fevang Per Anton (1998), *"TRACK EVENTS"* atti della Conferenza Europea Utenti ESRI, Firenze.

Fiduccia Andrea e Jacobelli Paolo (1999), "HELIOS-T: un GIS per l'analisi della mobilità sistematica nelle aree metropolitane", *MondoGis,* n°17.

Fisher Kim (1998*), "Portland Metro, Oregon: GIS database for urban transport planning"*, FHWA (Federal Highway Administration) Case Study, n°2.

Gibbons Glen (1990), "On Track with GPS", *GPSWorld*, giugno.

Goodchild Michael (1999), *"GIS and transportation: status and challenges",* Technical Reports, International Workshop on GIS-T and ITS, Chinese University of Hong Kong.

Groom Jonathan e Kemp Zarine (1994), *"Incorporating generic temporal capabilities in a Geographical Information System"*, atti della Conferenza Europea EGIS/MARI.

Guerra Cristina e altri (1999), *"Il sistema gestionale integrato di AGI, il ruolo di ArcView"*, atti della Conferenza Italiana Utenti ESRI, Roma.

Hafberg Gudmundur (1995), *"Integration of GIS and GPS for moving dynamic objects like vehicles and ships"*, atti della Conferenza Internazionale ESRI.

Herce Antonio (1999), *"Presentacion de los cursos de formacion al personal de la Union de Ferrocarriles de Cuba"*, documento consultabile alla pagina www.fgc.catalunya.net.

Kes Dirk (1999), *"InfraAtlas, rail infrastructure information system of Ns Railinfrabeheer"*, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.

Lakshmanan Tim e Spear Bruce (1997), "The role of GIS in transportation planning and analysis", *Geographical Systems*, Vol. 5, OPA (Overseas Publishers Association), India.

La Monica Sandro (1999), "Il catasto stradale ANAS: linee guida ed impostazioni", *MondoGis,* n°17.

Liberatore Marcello (1994), *"Sistemi di trasporto di massa e tecnologie innovative",* Masson casa editrice.

Liboni Alessandro (1998), "Il sistema DB-GIS di Deutsche Bahn", *MondoGis,* n°11.

Lombardi Lorenzo (1998), "La gestione della viabilità e del traffico in ambiente urbano", *MondoGis,* n°9.

Luis Perez José e Roca Jordi (1997a), *"A first application of GPS on railway traffic information system in Catalonia, Spain"*, documento interno KNOSOS.

Luis Perez José e Roca Jordi (1997b), *"Nota informativa sobre el sistema SITCAS en Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC)"*, documento interno KNOSOS.

Luis Perez José e Roca Jordi (1997c), "All aboard, on track with Catalonia's trains", *GPSWorld*, giugno.

Malagoli Petronio (1997), "A proposito di georeferenziazione", *MondoGis*, n°6.

Mazzetti Paolo (1998), "*Dati Statistici 1997. Ferrovie Nord Milano esercizio*", edito dalle FNM.

Monti Carlo (1997), "*Il sistema di posizionamento satellitare GPS",* dispense del corso di Topografia al Politecnico di Milano.

Montoya Dustin e Thomas Kevin (1998*),"Transportation model/GIS integration: an event-driven process for creating travel demand model highway Networks using dynamic segmentation"*, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.

Naik Gautam (1999), "How the cell phone and the web contract anarranged merriage", *The Wall Street Journal*, 11 ottobre 1999.

Nobili Alessandro (1999), "Il Glonass", bollettino della SIFET.

Oester Helt Gunther (1998), "DB-GIS die neue informationstechnologie bei der deutschen Bahn AG modelfall steckennetz", *GIS Geo-ingormations systeme,* n°5.

Ott Ernest (1999), "Timely travel information using GIS", *ArcUser*, Settembre.

Ottavi Cesare (1999), "La simulazione del territorio per la valutazione e la gestione del rischio ambientale" *MondoGis,* n°17.

Panero Rossella (2000), *"Informazioni tecniche sul sistema Route Planner®",* documento interno Divitech, Torino.

Ruggiero Federico (1996), "*Introduzione al sistema di posizionamento globale (GPS) NAVSTAR*", documento prodotto da Essentia, http://www.essentia.it.

Rutigliano Saverio (1999),"Roma by bus? Il capolinea è sul web", *MondoGis,* n°15.

Sartore Mariano (1999), "Rappresentazioni della mobilità. La costruzione di un osservatorio intra-interregionale", *MondoGis,* n°17.

Southby Lisa e Judd A.M. (1994), "Integrating GPS and GIS technologies for effective management of railways", atti della Conferenza Europea EGIS/MARI '94.

Sturm Janez (1997), *"Geographic Information System Of Slovenian Railway Co."*, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI 1997.

Sturm Janez (1999), *"Trans European Railway GIS"*, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.

Surace Luciano (1998), "GPS sistemi di riferimento e cartografia", *Geo Media,* gennaio-febbraio.

Verstraeten Eric (1995), "Insight into accident: the Flemish region's mobility GIS", *GISEurope,* giugno.

Web page 1 ESRI http://www.esri.it/library/gis/abtgis/comp_gis.html [ultimo accesso il 13/12/1999].

Web page 2 TRANSMAP http:// www.transmap.com [ultimo accesso il 9/09/1999].

Web page 3 ESRI http://www.esri.com/library/gis/trans/trans1.html [ultimo accesso il 23/03/2000].

Webb Patricia (1999), "On track and on time. Commuting with GPS", *GPSWorld*, gennaio.

APPENDICE 1

I SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI (GIS)

1.1. Introduzione

Il GIS (Geographical Information System), è un insieme complesso di componenti hardware, software, di risorse umane, di metodi e di dati (vedi figura 1.1). Lo scopo di questi sistemi è quello di acquisire, processare, analizzare, immagazzinare e restituire in forma alfanumerica e grafica informazioni riferite al territorio.

Figura 1.1 – Il GIS e le sue componenti

Per poter comprendere i sistemi informativi geografici occorre quindi capire come le varie componenti interagiscano fra loro (ESRI, Web page 1).

Il software GIS è generalmente composto da:

- strumenti per inizializzare e modificare i dati spaziali;
- un sistema per la gestione dei database;
- particolari funzionalità per l'analisi delle informazioni;
- un'interfaccia grafica di facile accesso;
- metodi per elaborare i dati;

e fornisce tutte le funzionalità per immagazzinare, analizzare e mostrare a video le informazioni geografiche.

Con il termine metodi si intendono tutti i modelli utilizzati per elaborare le informazioni e i criteri di processamento dei dati diversi a seconda dello scopo a cui viene destinato il sistema informativo geografico.

I dati sono la componente più importante dei sistemi informativi. Nei GIS le informazioni vengono organizzate in database gestiti da appositi motori, che permettono di modificare e aggiornare con facilità dati spaziali e descrittivi. Esistono due diversi formati di dati spaziali: quelli vettoriali, che rappresentano la realtà attraverso tre elementi geometrici di base (punto, linea, poligono) e quelli raster memorizzati tramite la creazione di un grigliato regolare in cui, ad ogni cella, viene assegnato un valore alfanumerico (vedi figura 1.2).

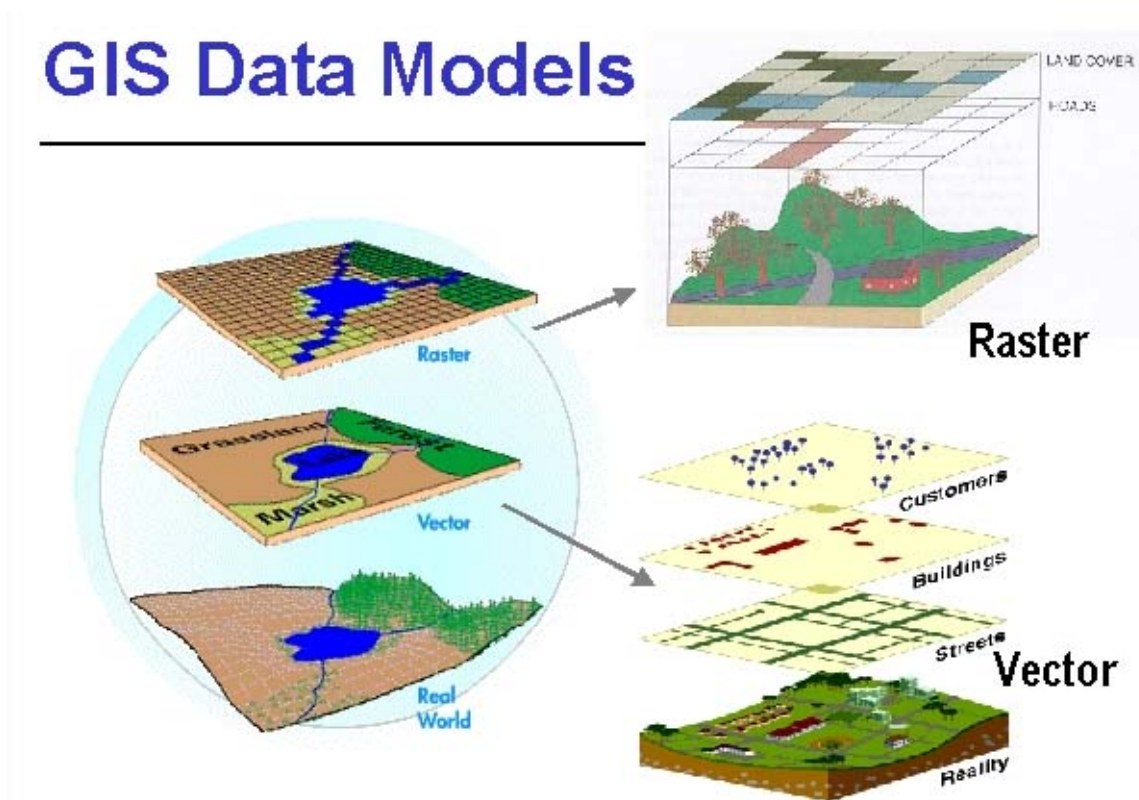



Figura 1.2 – Rappresentazione dei dati vettoriali e raster

I dati raster sono descritti attraverso le coordinate (x, y) in modo che gli elementi puntuali siano rappresentati da una singola coppia (x, y) gli elementi lineari siano composti da una collezione di punti e gli elementi areali, come laghi e bacini d'utenza, da un anello chiuso di coordinate. Il formato raster permette di rappresentare con facilità

elementi discreti, mentre quelli continui vengono generalmente rappresentati da dati in formato raster.

I sistemi informativi geografici nascono dall'esigenza di avere potenti strumenti di raccolta ed elaborazione di informazioni, che possano essere di aiuto a chi deve prendere decisioni. L'obiettivo di un GIS, infatti, è quello di elaborare dati e fornire mappe, rapporti e analisi statistiche per formare un supporto alle decisioni territoriali (vedi figura 1.3).

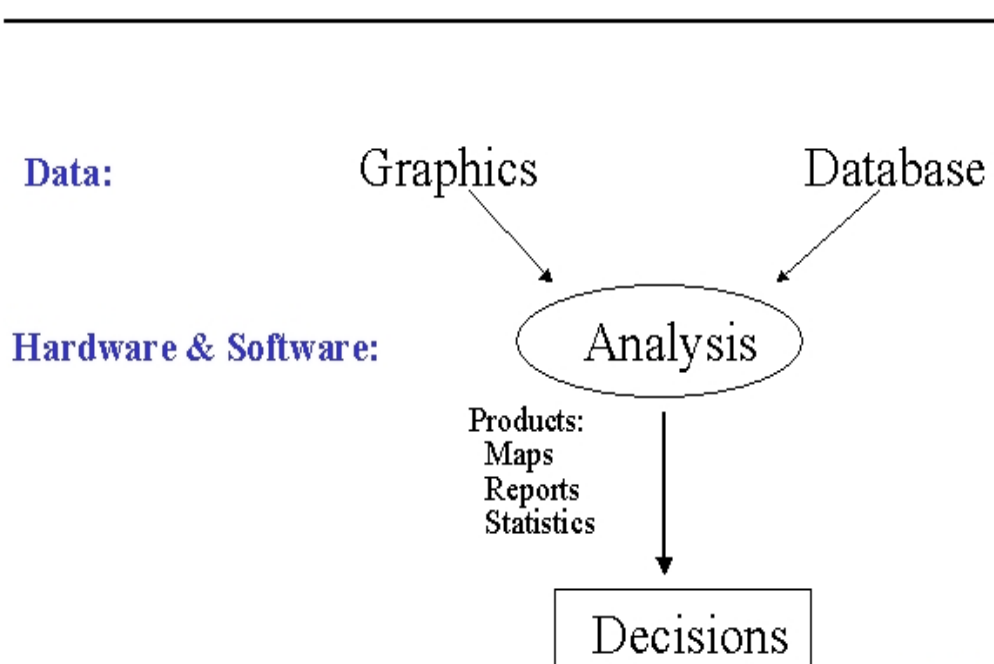



Figura 1.3 - Schema semplificato: GIS per il supporto alle decisioni

In realtà, a seconda dell'uso a cui viene destinato, il GIS può essere considerato un prodotto o un sistema. Se si vuole visualizzare e riprodurre una mappa, eseguire le funzioni tipiche dei GIS, gestire una base di dati geografici, allora per GIS si intende un prodotto, un software, oggi facilmente acquistabile con elevati standard di qualità. Se si vuole supportare delle decisioni, si acquista invece una soluzione, composta da hardware, software, dati, applicazioni specifiche, servizi di formazione, addestramento e manutenzione.

In Italia, per esempio, enti pubblici e privati hanno realizzato sistemi di supporto alle decisioni per la gestione della viabilità e del traffico urbano. Il Dipartimento Ambiente dell'ENEA ha sviluppato un Sistema per il Supporto della Pianificazione della Mobilità Urbana e del Risanamento Ambientale Integrato, SAMURAI, che comprende un database, una biblioteca di programmi di calcolo con cui analizzare i vari aspetti delle circolazione, un collegamento software per lo scambio di dati tra i modelli e un GIS, che deve gestire la cartografia e la rappresentazione grafica dei dati e dei risultati elaborati (Lombardi, 1998).

La Direzione Generale Trasporti e Mobilità della Regione Lombardia ha realizzato e sviluppato un sistema informativo basato sull'integrazione di GIS, archivi e modelli settoriali destinato a fornire un supporto alle decisioni programmatorie e gestionali in materia di servizi e infrastrutture di trasporto (Cometti e Ratti, 1997).

1.2. La tecnologia dei GIS

La tecnologia GIS integra i comuni database, che consentono di effettuare analisi statistiche e relazionali sui dati e la possibilità visualizzare dati geografici attraverso mappe tematiche. Le principali caratteristiche che distinguono i sistemi informativi geografici da altre tipologie di sistemi sono:

- la capacità di georeferenziare i dati, ossia di attribuire ad ogni elemento le sue coordinate spaziali reali;
- la possibilità di associare ad elementi geometrici rappresentativi di oggetti o aree sul territorio, attributi di vario tipo;
- la possibilità di ottenere nuove informazioni elaborando i dati degli archivi di base.

Lo scopo di un sistema informativo territoriale è quello di gestire e rappresentare informazioni spaziali definendo un opportuno modello dei dati. Gli oggetti appartenenti al mondo reale vengono memorizzati come oggetti geometrici, ma vengono anche gestite tutte le informazioni che riguardano le mutue relazioni spaziali tra i diversi elementi, come la connessione, l'inclusione, l'adiacenza, ossia si strutturano i dati definendone la topologia. Tutti gli elementi sono **georeferenziati**: ad ogni oggetto

geometrico, vengono attribuite le coordinate del sistema di riferimento in cui realmente è situato l'oggetto (come 12° 27' lat. E e 14° 53' long. N utilizzando il sistema geografico), per questo possiamo parlare di dati spaziali. Le informazioni possiedono quindi un riferimento esplicito, latitudine e longitudine, ma anche un riferimento implicito come un indirizzo, un codice postale, un codice identificatore. Un processo automatico detto **geocoding** consente di creare un riferimento esplicito da uno implicito, in modo da poter sempre localizzare tutti gli oggetti.

Un GIS può gestire sia informazioni spaziali, che dati non spaziali: a tutti gli elementi geometrici, in formato raster o vettoriale, rappresentativi di oggetti sul territorio, possono essere associati dati descrittivi (alfanumerici, testi, disegni, ecc) detti **attributi**. Questi ultimi consentono di rappresentare mappe che non riportino solo la cartografia, ma anche altri tipi di informazioni: ad esempio, una carta delle zone edificate di Milano retinata in funzione dell'età media dei residenti. Tutte le informazioni, sia spaziali che descrittive, sono memorizzate in database relazionali, che possono essere interrogati mediante linguaggio di tipo SQL (Structured Query Language). Proprio questa particolare struttura dei database consente di effettuare diversi tipi di analisi sui dati. Tornando all'esempio citato prima, in un database potrebbe essere associato, ad ogni edificio, un indirizzo, mentre in un altro, quello anagrafico, ad ogni indirizzo potrebbe essere associata la data di nascita delle persone che vi risiedono. Tramite l'informazione "indirizzo" si può creare una relazione tra i due database ed effettuare un'analisi relativa all'età media dei residenti, restituendola graficamente.

Per quanto riguarda i dati raster è possibile associare ad ogni cella elementare, rappresentativa di una certa area sul territorio, un numero infinito di attributi: per esempio in un'immagine da satellite ad ogni cella sono associate le risposte spettrali delle diverse bande, oltre al valore di classe di uso del suolo (calcolato con opportuni algoritmi sulla base delle risposte spettrali). Per quanto riguarda i dati vettoriali, invece, è possibile associare ad ogni elemento geometrico, rappresentativo di un oggetto reale, o ad ogni insieme di elementi un numero infinito di attributi e definire le relazioni che sussistono fra di essi.

La differenza principale tra i sistemi informativi ed il software di cartografia numerica è la possibilità dei primi di elaborare i dati geografici, vettoriali e raster, attraverso algoritmi matematici. La disponibilità di algoritmi fornisce un parametro molto importante per valutare la potenzialità di uno strumento GIS che comunque possiede alcune caratteristiche fondamentali:

- facilità nel passaggio dei dati dal formato vettoriale al raster e viceversa;
- interfaccia utente che renda intuitivo l'uso integrato dei due formati;
- strutture omogenee di archivi per i dati raster e vettoriali;
- gestione dei dati descrittivi associati alle due tipologie di formato attraverso l'uso di un comune data base relazionale;
- compatibilità del sistema di georeferenziazione dei due formati;
- possibilità di visualizzare ed interrogare contemporaneamente dati raster e vettoriali;
- tecniche di elaborazione integrate.

A partire dalle informazioni esistenti nel database è possibile creare, attraverso specifici algoritmi, nuovi livelli informativi. Proprio questa disponibilità di funzionalità particolari trasforma i sistemi informativi geografici in un moderno strumento informatico capace, non solo di reperire ed elaborare grandi quantità di dati con rapidità e chiarezza, ma anche di generare nuove informazioni utili. Le funzioni più caratteristiche di GIS verranno distinte in funzionalità di base e funzionalità di rete.

1.2.1. Funzionalità di base

In un GIS sono presenti alcune funzionalità molto semplici, ma utili quali: *l'analisi di prossimità*, che consente di determinare gli elementi ad una distanza data da un certo punto, il calcolo di *distanze e di aree*, la *riclassificazione degli elementi delle mappe*, ecc. Molto più caratteristiche risultano le funzionalità di *overlay, buffering e query.*

Le funzioni di ***overlay*** topologico consentono di sovrapporre mappe tematiche, chiamate layer, e quindi diversi livelli informativi. Nei GIS, infatti, le mappe sono rappresentate per temi: mentre in una cartina tradizionale tutti gli elementi geografici, strade, fiumi, edifici, laghi e foreste vengono rappresentati insieme, in un sistema informativo territoriale ogni categoria di elementi viene memorizzata in una mappa separata. Si parlerà di una mappa per le strade, una per i fiumi, una per gli edifici, una

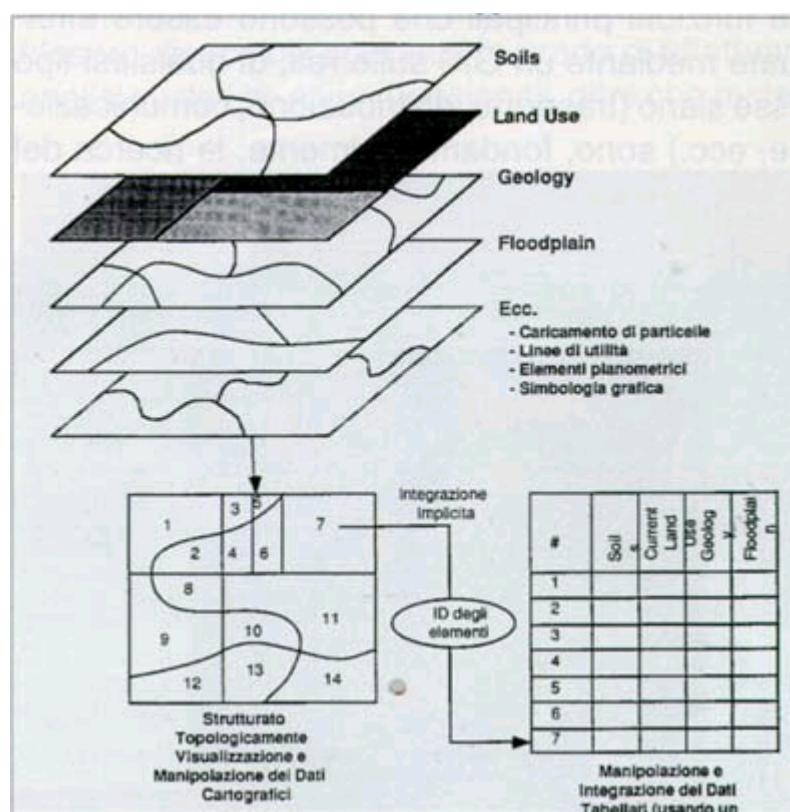
per i laghi e cosi via, ma i layer risultano sovrapponibili, in modo da poter generare una mappa completa. Questa organizzazione delle informazioni permette di combinare, a seconda delle particolari esigenze, mappe che riportino soltanto le informazioni necessarie alla specifica applicazione. Per questo quando si parla di GIS si parla anche di mappe "flessibili" a seconda delle necessità. La sovrapposizione non deve essere soltanto visuale, ma deve avvenire soprattutto a livello degli attributi in modo da creare un nuovo livello informativo che conterrà tutte le informazioni dei tematismi sovrapposti. In figura 1.4 sono rappresentati cinque diversi layer riportanti informazioni

sulla geologia, la copertura vegetale, l'acclività, la fratturazione della roccia e linee di utilità ed elementi planimetrici. Attraverso l'operazione di overlay si riescono a determinare le zone potenzialmente predisposte al dissesto.

Figura 1.4 – Aree predisposte al dissesto ottenute attraverso la sovrapposizione di mappe tematiche differenti

Per essere perfettamente e correttamente sovrapposte le mappe devono essere riferite tutte allo stesso sistema di riferimento.

Le funzioni di ***buffering***, sono in grado di creare un'area di rispetto intorno agli elementi geografici presenti nel database. Questa operazione risulta modulabile a seconda delle esigenze dell'operatore ed è in grado di risolvere velocemente problemi altrimenti difficilmente risolvibili: ad esempio permette l'individuazione di fasce di rispetto asimmetriche rispetto ai due lati di un elemento lineare, oppure di effettuare un buffering parametrizzato a seconda delle caratteristiche dell'elemento.

Il livello informativo risultante da un'operazione di buffering è sempre di tipo poligonale. Attraverso questa funzione si possono ad esempio determinare le fasce di rispetti intorno ad una ferrovia o ad una strada.

Generalmente in un GIS esistono anche delle ***query grafico-alfanumeriche***, che consentono di interrogare i database dei diversi layer e in particolare permettono di:

- estrapolare record rispondenti a caratteristiche desiderate;
- derivare nuovi campi, risultanti da operazioni effettuate sugli esistenti
- aggregare i dati per una osservazione più sintetica;
- combinare le varie tavole in un unico foglio riassuntivo detto "di esito".

Ogni elemento geometrico con i rispettivi attributi, o campi, viene memorizzato nel record di una tabella, ossia in una riga: ad esempio il database "Stazioni ferroviarie nella Provincia di Enna" è costituito da una tabella composta da n righe o record, che corrispondono alle n stazioni e da m colonne, che corrispondono agli m attributi associati ad ogni stazione.

Attraverso una query è possibile accedere sia ai campi che ai record di una tabella: nel primo caso l'interrogazione potrebbe essere "Quanti binari possiede la stazione di Enna?", nel secondo caso poterebbe essere "Cerca la stazione di Enna". Supponendo di prendere in esame i database delle mappe tematiche: "Limiti amministrativi delle provincia di Enna", "Linee ferroviarie di tutta Italia", "Le strade della Provincia di Enna", una query potrebbe essere: "Visualizza tutte le strade statali". In questo caso si selezionano all'interno del database tutte le strade che possiedono l'attributo "statale". Altre interrogazioni possibili sono: "Visualizza tutti i passaggi a livello attraversati da una data strada statale", allora si crea una relazione tra database di layer differenti,

"Visualizza il comune a cui appartiene il tratto di ferrovia segnalato con il cursore", ecc. Le funzioni di query permettono di ordinare i dati esplicitando le relazioni che devono intercorrere tra essi ed i vincoli che devono soddisfare e permettono di visualizzare velocemente in forme grafica e alfanumerica informazioni utili alle specifiche applicazioni. I database vengono interrogati automaticamente senza che l'utente debba consultarli personalmente.

Esistono poi *operatori tridimensionali* che consentono di generare superfici tridimensionali, di effettuare profili morfologici, di determinare la visibilità tre due punti, di calcolare l'insolazione di terreni, ecc.

1.2.2. Funzionalità di rete

Le funzioni per la gestione ed analisi delle reti a grafo, lavorano su una struttura dati topologica di tipo lineare. La struttura lineare è rappresentata da un insieme di linee e punti che nel caso specifico vengono detti archi e nodi. I sistemi di reti costituiscono una importantissima infrastruttura del mondo di oggi, saperli gestire ed analizzare è diventato essenziale: basti pensare alle reti di distribuzione di acqua, gas, alle reti elettriche e telefoniche, alla gestione dei trasporti. La forma, la capacità e l'efficienza delle reti hanno un impatto non trascurabile sullo standard di vita, per questo si è cercato di estendere le funzionalità di tali settori ai sistemi informativi. Le funzioni che possono essere effettuate mediante un GIS sulle reti sono fondamentalmente tre: *la verifica di connettività, la ricerca del minimo percorso e l'allocazione di risorse*.

Le funzioni per la verifica della connettività servono ad identificare se e quali porzioni della rete sono connesse.

Le funzioni di minimo percorso riescono a determinare il percorso minimo, il più efficace, o il meno costoso per attraversare la rete. Agli archi possono essere associati degli attributi quali il tempo di percorrenza, la distanza da nodo a nodo, il costo in modo da poter determinare il percorso ottimo. La figura 1.5 mostra una schermata del GIS ArcInfo, della ESRI, nella quale viene segnalato in grassetto il percorso più breve, in distanza, alternativamente il sistema informativo potrebbe ricercare il percorso più rapido. Le condizioni di viaggio (stato delle strade, del traffico, dei lavori in corso, ecc) possono essere facilmente variate e il GIS ricalcola un nuovo percorso mostrandolo a

video (ESRI, Web page 3). La figura 1.6 mostra invece una schermata del GIS ArcView, della ESRI, nella quale la scelta del percorso ottimo avviene in base al costo (ESRI, Web page 3). Nel grafico in basso si possono confrontare i costi di tutti i cammini alternativi considerati. Per effettuare analisi di allocazione di risorse occorre disporre di un centro che offra risorse e di una domanda di queste sulla rete, oppure di una offerta sulla rete e di una domanda da parte di un centro. Un esempio tipico è la gestione dei rifiuti in ambiente urbano. Nella figura 1.7 si può vedere come il GIS ArcView sia capace di distribuire la domanda su ogni magazzino in modo da minimizzare il tempo di servizio al cliente. In basso a sinistra compare il grafico di accessibilità di ogni cliente ai magazzini (ESRI,Web page 3).

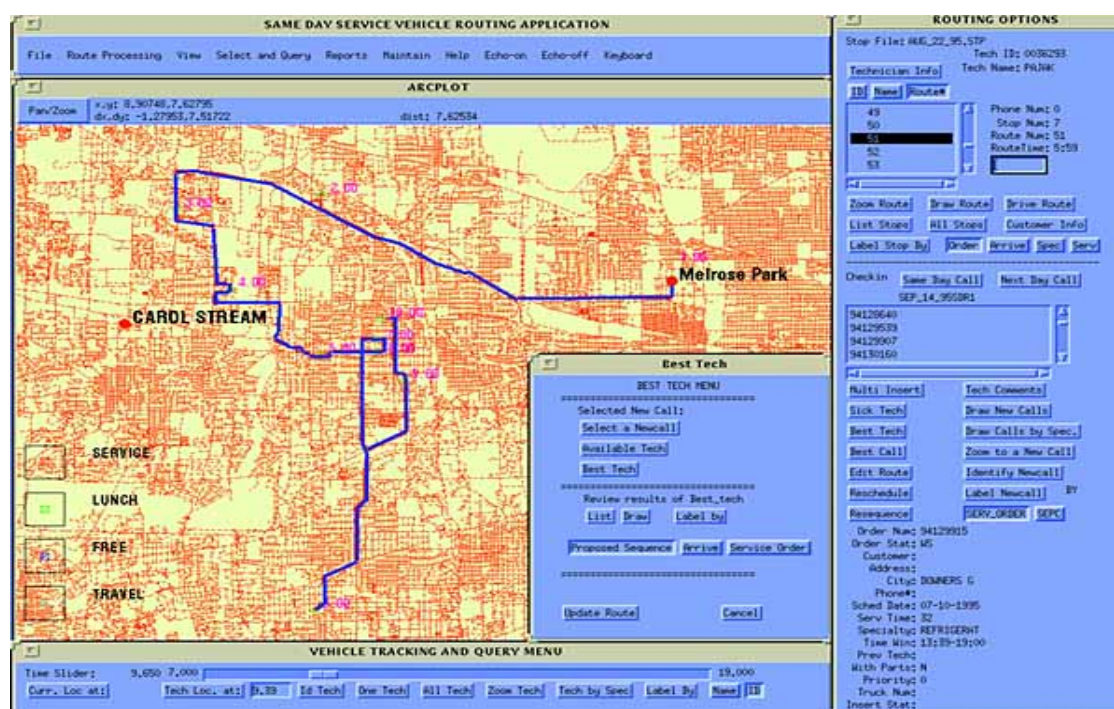



Figura 1.5- Schermata del GIS ArcInfo nella quale compare il percorso che minimizza la distanza o il tempo di percorrenza fra due punti

Recentemente è stata proposta un'estensione del modello topologico lineare denominata *segmentazione dinamica*. Questa nuova estensione consente di assegnare attributi a una qualsiasi porzione di arco, di associare diversi insiemi di attributi a un qualsiasi segmento senza dover cambiare i database: si possono attribuire informazioni

diverse a porzioni diverse di un arco senza doverlo effettivamente spezzare. E' possibile quindi sovrapporre al modello topologico dei dati una nuova tipologia senza effettuare modifiche sui dati.

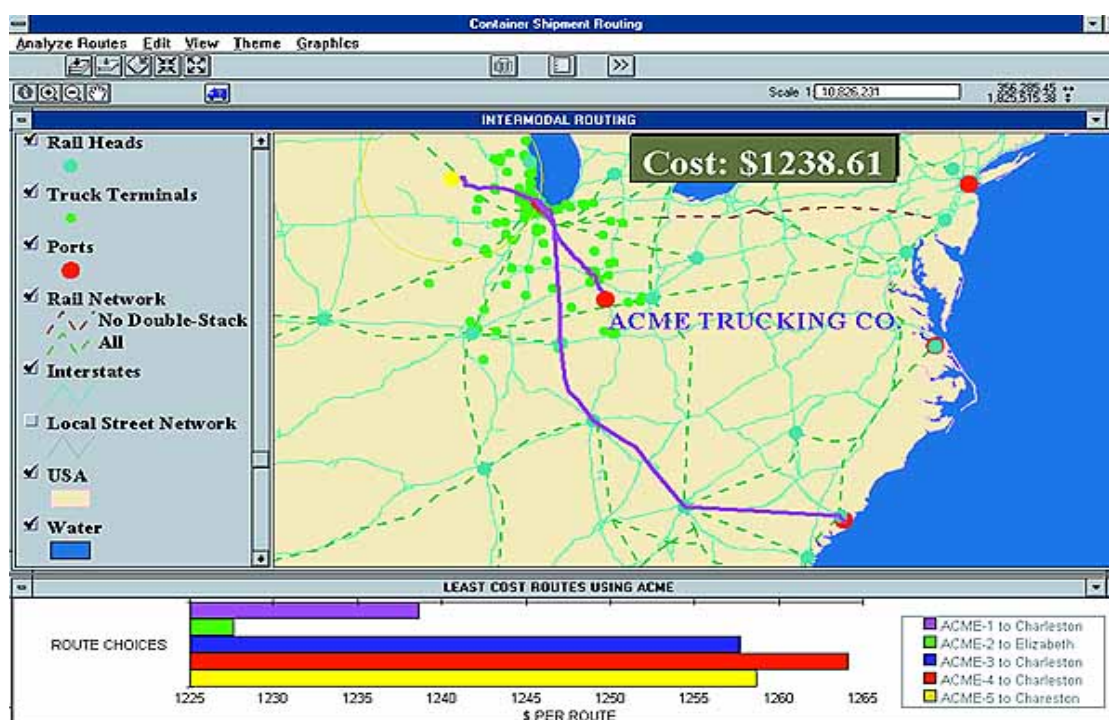
In un GIS la rappresentazione di elementi lineari come un reticolo stradale viene effettuata memorizzando una serie di coordinate (X,Y) in un dato sistema di riferimento, e così tutti gli oggetti, come semafori, ponti, ecc vengono memorizzati

attraverso le medesime coordinate. Un altro modo per individuare la posizione di un qualsiasi elemento geografico è quello di fornire la sua posizione lungo una strada.

Figura 1.6 – Schermata del GIS ArcView nella quale compare la scelta del percorso ottimo effettuata in base ai costi associati ai diversi cammini

In questo modo anche la gestione dei dati risulterebbe più semplice, basterebbe, una volta definito l'elemento lineare al quale ci si riferisce, gestire e memorizzare una sola coordinata, il chilometro progressivo. Alla base della segmentazione dinamica vi è infatti la definizione di una route che rappresenta l'elemento lineare a cui possono essere associati degli attributi; la route può essere costituita da archi e nodi, ma questo non implica che il suo inizio e fine debbano coincidere con il nodo iniziale e finale, può

comprendere anche solo parti di un arco. Nella route viene definito un punto di origine a partire dal quale si inizia a calcolare il chilometro progressivo, che corrisponde alla coordinata curvilinea, in modo da poter creare un nuovo sistema di riferimento. La disponibilità di strumenti per creare, memorizzare, interrogare, modificare, rappresentare le routes completano le funzionalità di segmentazione dinamica. Si tratta di funzionalità dinamica e non di modalità in quanto la struttura dei dati rimane la stessa.

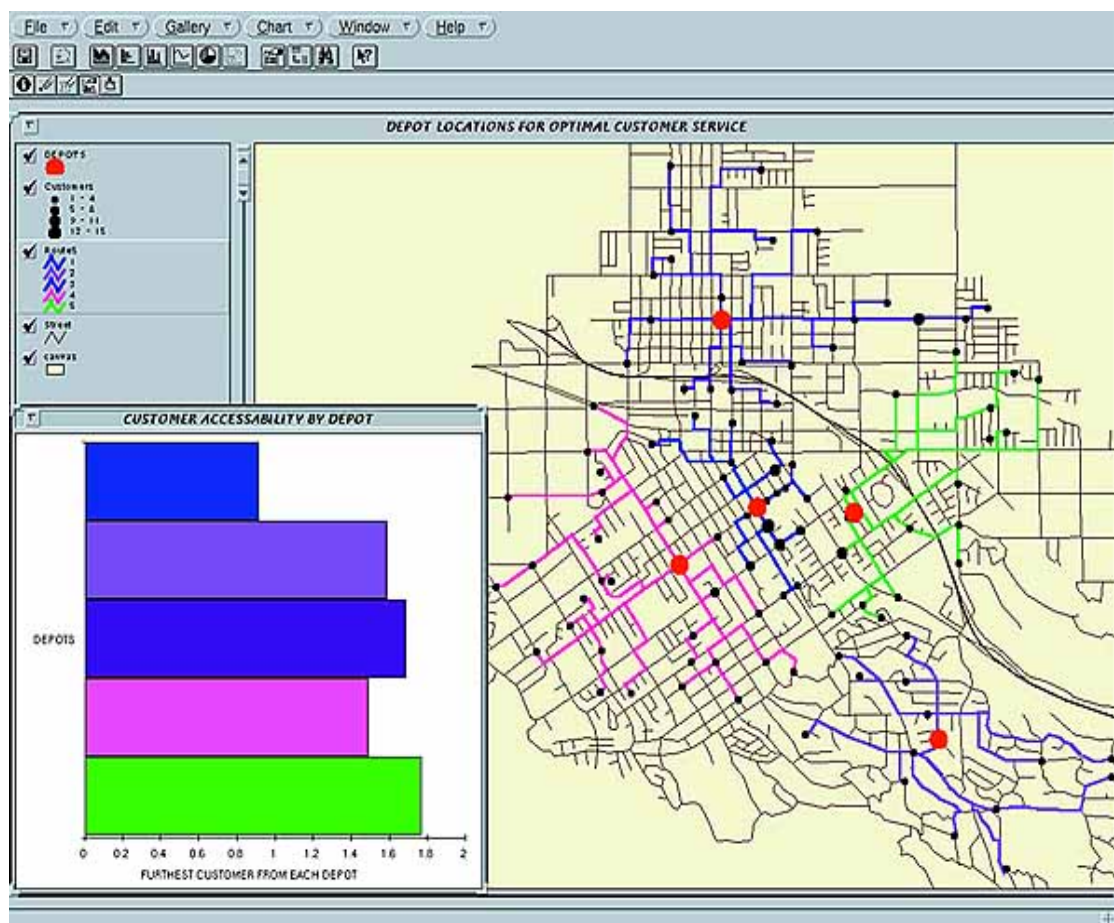



Figura 1.7 – Schermata del GIS ArcView per analisi di allocazione di risorse

1.3. Le applicazioni

Attualmente in Italia operano con sistemi informativi: Pubbliche amministrazioni, aziende di servizi pubbliche e private, Regioni, Provincie e Comuni, Comunità Montane e Consorzi, Studi tecnici, Società di ingegneria, Aziende industriali, finanziarie, commerciali, banche, assicurazioni, Servizi sociali e sanitari, Università e Istituiti di ricerca, singoli professionisti, ecc. Le applicazioni possibili dei GIS infatti vanno dalle Gestioni catastali, all'Urbanistica, Piani territoriali, salvaguardia ambientale, beni culturali, traffico, viabilità, trasporti, Valutazioni di impatto ambientale, Gestione di reti tecnologiche, Geomarketing, demografia, statistica, turismo, ecc (Biallo, 1999).

Le applicazioni GIS più diffuse sono state quelle di gestione di reti tecnologiche (29%), di pianificazione e gestione urbanistica (23%), e del territorio (22%), ma accanto a queste, che potremmo definire più tradizionali, sono oggi presenti realtà più nuove (Cortellessa,1995). Grazie alla disponibilità di GIS a basso costo, sono emerse nuove categorie di utenti tra i quali: istituti di credito, assicurazioni, servizi socio-sanitari, società di trasporto, strutture per il turismo.

I settori di applicazione risultano quindi essere i più svariati (Biallo,1996)

In agricoltura sono usati per :

- stimare la colture stagionali;
- pianificare interventi di risanamento;
- gestire i finanziamenti.

Nella protezione civile sono usati per:

- generare coperture di erosione;
- studiare le vulnerabilità degli acquiferi sotterranei attraverso l'uso di modelli specifici;
- simulare eventi catastrofici analizzando le zone abitate e prevedendo come dove e quando evacuare le zone interessate.

Nei vari settori ambientali per:

- pianificare e definire i confini di aree protette;
- monitorare geograficamente l'inquinamento dell'aria, delle risorse idriche, del mare e delle terra, pianificare gli interventi ed analizzare le fonti;
- controllare l'evoluzione della pressione antropica in zone a rischio.

Nelle amministrazioni comunali per (Biallo,1998):

- realizzare e gestire il piano regolatore;
- gestire i tributi;

Nel settore delle telecomunicazioni per:

- studiare la coperture territoriale delle antenne di trasmissione in funzione della morfologia, delle vegetazione, delle concentrazione della popolazione, ecc.

Nel settore della progettazione per:

- progettare la localizzazione ottimale di grandi opere i funzione di varie informazioni;
- valutare l'impatto ambientale attraverso tecniche di sovrapposizione di vari tematismi.

Nelle aziende che gestiscono reti tecnologiche per:

- inventariare e gestire le reti sul territorio;
- supportare le attività di manutenzione segnalando alle squadre di intervento la precisa dislocazione dei tratti di rete sui quali intervenire;
- simulare guasti attraverso opportuni modelli e programmare gli interventi necessari;
- pianificare l'incremento della rete nelle zone di espansione.

Nel settore dei trasporti per:

- controllare le flotte di mezzi sul territorio visualizzando in ogni istante la localizzazione geografica di ogni veicolo;
- analizzare i percorsi ottimali;
- gestire gli interventi di manutenzione ordinaria e le concessioni stradali.

Nel settore delle emergenze per:

- coordinare l'intervento;
- rendere tempestivamente disponibili le informazioni;
- rappresentare in modo chiaro, rapido e preciso tutte le informazioni.

L'integrazione di GIS con altre tecnologie quali centraline di raccolta dati, GPS, reti locali, ipertesti, ecc consente la diffusione del GIS anche in settori con specifiche esigenze applicative (Carlucci,1998). La TRANSMAP Corporation, compagnia americana, fornisce precise immagini digitali georeferenziate per i sistemi informativi geografici. Le immagini a colori provengono da una telecamera digitale, mentre un

ricevitore GPS, permette di georeferenziare le immagini stesse. Questa combinazione di tecnologie consente quindi di creare precise mappe a basso costo per specifiche applicazioni GIS (per questo si può consultare la bibliografia Web page 2).

1.4. Il GIS e Internet

Il forte sviluppo di Internet ha ultimamente coinvolto anche il settore del GIS. Spesso le amministrazioni pubbliche sentono l'esigenza di divulgare mappe digitali utili per il servizio pubblico, mentre le società private tendono a diffondere informazioni utili al cliente (ad esempio la localizzazione degli uffici). L'esigenza di questi operatori generalmente non si limita alla semplice visualizzazione di mappe, ma si estende alla consultazione dei dati ad esse connessi. Per questo sono state introdotte nuove soluzioni per pubblicare mappe interattive su Internet con semplicità secondo lo schema mostrato in figura 1.8.

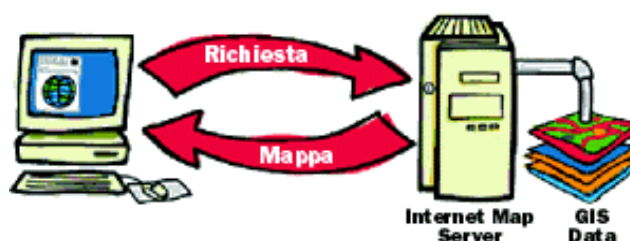



Figura 1.8 - Schema di GIS e Internet

E' possibile utilizzare il MapObject Internet Map Server, della ESRI, per creare soluzioni personalizzate, l'ArcView Internet Map Server, sempre della ESRI, per pubblicare dati così come si presentano in ArcView, MapXsite, di MapInfo, per aggiungere a Internet mappe interattive, oppure GeoMedia Web Map e GeoMedia Web Enterprise, della Intergraph, per pubblicare mappe e creare applicazioni per l'analisi di dati geografici sul Web.

MapObject Internet Map Server contiene tutte le funzioni necessarie per pubblicare mappe su Internet. Le applicazioni realizzate con questa estensione possono accedere a tutti i formati di dati gestiti da MapObject quali i file di shape, le coperture di ARC/INFO e i livelli di SDE (un potente motore per le gestione dei database proposto

dalla ESRI), rendendoli disponibili al pubblico di Internet. MapObject Internet Map Server include una estensione per il Web Server compatibile con il Netscape Server, l'Internet Web Server di Microsoft e gli altri Web Server che supportano le estensioni NSPA/ISAPI.

ArcView Internet Map Server consente di utilizzare ArcView per pubblicare mappe e applicazioni GIS su Internet. Anche in questo caso le mappe interattive possono essere create a partire da un gran numero do differenti formati, inclusi i file di shape, le coperture di ARC/INFO, i livelli di SDE, DWG, DXF, ecc. In effetti qualsiasi mappa che può essere visualizzata e consultata in ArcView può anche essere pubblicata su Internet.

Per la gestione di banche dati geografiche di grandi dimensioni, consultabili via Internet, da molti utenti contemporaneamente, è necessario un motore per la gestione delle informazioni: la soluzione, proposta dalla ESRI, è il motore SDE, poco diffuso in Italia, che utilizza un modello dati unificato per memorizzare informazioni spaziali e attributi nel database relazionale. Le interrogazioni spaziali avvengono sempre utilizzando operatori standard SQL sugli attributi degli oggetti geografici, ma i risultati di questa interrogazioni possono essere utilizzati in applicazioni cartografiche (come di consueto nei GIS) o in altre applicazioni che richiedano analisi spaziali, ma non la produzione di cartografia. MapObject e ArcView Internet Map Server risultano entrambi compatibili con il motore SDE, che, riuscendo a gestire grandissime quantità di informazioni in un unico database continuo ad accesso multiutente, garantisce la miglior funzionalità ed efficienza per sistemi di questo tipo.

MapXsite è un pacchetto di MapInfo che permette di aggiungere applicazioni interattive alle mappe sul Web. Ad esempio gli utenti dopo aver inserito il loro indirizzo, ricevono indicazioni sul negozio più vicino e possono, in seguito, cliccando sul negozio stesso ricevere informazioni riguardo al numero di telefono, ad offerte speciali, ecc. I benefici che questi sistemi di diffusione capillare delle informazioni in Internet possono apportare sono: aumento delle vendite, possibilità di acquisire informazioni o acquistare merci costantemente 365 giorni all'anno, ecc. MapXsite è compatibile con tutti i più comuni web software server, è facilmente integrabile con questi e richiede ambiente Windows. Generalmente questo pacchetto comprende:

- Mapping Engine il motore ActiveX ,di MapInfo, che permette di creare mappe;
- US Streets un file che contiene tutte le strade degli Stati Uniti;
- Geocoding client and server che comprende tutte le funzionalità di geocoding;
- Java applet che consente di sviluppare funzionalità per creare interazioni più dinamiche con le mappe;
- Publisher che permette la pubblicazione guidata di mappe in Internet;
- Application Server che gestisce l'interazione tra il server e il cliente;
- Session manager che permette di distribuire le applicazioni tra i diversi utenti;
- Sample Projects degli esempi consultabili, copiabili e riutilizzabili.

GeoMedia Web Map è una tecnologia compatibile con Windows e con tutti i Web browser standard che permette di combinare e di distribuire GIS in Internet. E' un prodotto che pubblica mappe in formato vettoriale sul Web, collegando fra loro diversi database. Gli utenti, però, non possono modificare i dati che risultano protetti in un ambiente di sola lettura. ***GeoMedia Web Entreprise*** costruisce su queste mappe vettoriali analisi spaziali e consente agli utenti di interagire e di accedere alle informazioni geografiche. Entrambi questi prodotti possono essere utilizzati con il linguaggi di programmazione standard: Visual Basic, Visual C++, PowerBuilder e Delphi.

1.5. Parametri di qualità

Per poter confrontare fra loro diversi sistemi informativi risulta essenziale introdurre alcuni parametri di qualità. Per caratterizzare la qualità globale, ossia dell'intero prodotto si considerano i seguenti indicatori:

- l'esaustività, che misura la mancanza o l'eccesso di informazioni;
- l'attualità, che misura i cambiamenti avvenuti tra la data della rilevazione e la data attuale;
- la genealogia che tiene conto delle fonti e del trattamento delle informazioni.

Per la qualità locale, ossia relativa a ciascun singolo oggetto cartografico si definiscono:

- la precisione metrica definita come la differenza tra la posizione di un punto sulla cartografia rispetto alla sua posizione reale;
- la risoluzione data dalle dimensioni del più piccolo particolare rappresentato;

- la precisione semantica definita come corrispondenza tra la realtà e l'attributo associato all'oggetto;
- la congruenza logica definita come assenza di incongruenze rilevabili indipendentemente da una verifica nella realtà (un edificio su una strada, due curve di livello che si intersecano, ecc.);
- la congruenza geometrica definita come assenza di errori di forma e posizione rilevati con verifica diretta sul campo.

L'accuratezza delle rappresentazioni digitali di dati spaziali dipende dai requisiti imposti dall'utente ed è legata alla sorgente dei dati (cartografia, immagini, ecc.) e alle metodologie e strumenti usati per acquisirli. I dati vettoriali vengono generalmente acquisiti attraverso rilievi aerei o direttamente dalla cartografia. In tal caso l'accuratezza dipende dalle regole d'interpretazione del dato sorgente e dalla precisione di digitalizzazione dell'informazione. La precisione ottenibile va a favore delle tecniche di elaborazione dei dati che sfruttano la continuità del dato vettoriale. L'accuratezza del dato raster dipende invece dagli strumenti di acquisizione: per esempio per le immagini telerilevate dipende dalle piattaforme satellitari ed aeree. In sintesi l'accuratezza dei dati vettoriali risulta più discrezionale rispetto a quella più sistematica dei dati raster.

Questi parametri sono stati introdotti per sottolineare aspetti generali da considerare per la definizione degli standard per la cartografia numerica. Il crescente numero di sistemi informativi ha infatti generato una crescita di dati, che, contrariamente alla cartografia tradizionale, sono stati acquisiti ad uso e consumo del singolo utente. Tale proliferazione di banche dati ha generato duplicazioni e ripetizioni. Attualmente, infatti, non sono ancora stati raggiunti e standardizzati criteri omogenei di produzione e controllo di qualità, a differenza della cartografia tradizionale che ha da tempo degli standard riconosciuti a livello internazionale.

APPENDICE 2

MANUALE UTENTE DI InfoTreno 1.0

Installazione

Il programma è dotato di procedura guidata di installazione che automaticamente aggiunge le librerie (DLL) ed i controlli ActiveX (OCX) necessari al corretto funzionamento su macchine dotate di sistemi operativi Windows NT e Windows 9x. Per avviare l'installazione, inserire il CD-ROM di *InfoTreno*, digitare "*D:\setup.exe*" nella finestra di dialogo attivata dalla voce esegui (*Run*) del menù di avvio di Windows. Il percorso di *setup.exe* può cambiare a seconda del nome dell'unità assegnato dal sistema al lettore CD. Il *Setup* scompatta automaticamente anche i dati cartografici necessari e li copia in una directory di nome *data.* Per un corretto funzionamento è opportuno non cambiare mai la posizione di questa cartella, che deve rimanere sempre ad un livello pari o superiore a quella in cui è contenuto il file eseguibile dell'applicazione (*InfoTreno.exe*).

Schermata iniziale

Una volta lanciato il programma *InfoTreno*, è opportuno orientarsi un po' all'interno della finestra che di avvio (figura 2.1). La mappe situate a sinistra e a destra della finestra verranno d'ora in poi chiamate rispettivamente *Mappa1* e *Mappa2;* lo schema grafico della linea ferroviaria Milano-Como, posto in basso è denominato invece *Quadro sinottico.*

Mappa 1 e funzioni

La mappa 1 inizialmente rappresenta i confini amministrativi della regione Lombardia e le linee ferroviarie FS e FNM con la tratta FNM Milano-Como evidenziata in blu. Il contenuto ed il livello di zoom sono modificabili mediante i pulsanti della barra degli strumenti situata in alto a destra rispetto alla mappa e riportata in figura 2.2. In particolare il primo gruppo di bottoni determina le

Figura 2.2 – Barra degli strumenti della Mappa1

funzioni che vengono attivate posizionando il mouse sulla mappa e premendo il pulsante sinistro.

- Il primo bottone, la cui icona è una lente di ingrandimento, permette di eseguire lo zoom sull'area rettangolare individuata dall'utente.
- Il bottone con l'icona a forma di manina attiva la funzione di *panning*, ovvero permette di spostare la mappa trascinandola con il mouse.
- Il terzo bottone, la cui icona rappresenta un comune attraversato da un tratto di binari, consente di visualizzare graficamente i confini amministrativi ed i nomi dei comuni attraversati da un arco di ferrovia selezionato con il mouse. La selezione dell'arco avviene cliccando su un segmento qualsiasi della rete ferroviaria lombarda. In seguito a questa operazione, sulla mappa vengono evidenziati i limiti amministrativi del gruppo di comuni attraversato dal tratto selezionato, tale area lampeggia tre volte e compaiono le etichette con i rispettivi nomi .
- Il quarto bottone permette di selezionare un'area sulla mappa 1 per visualizzarla ingrandita sulla mappa 2.

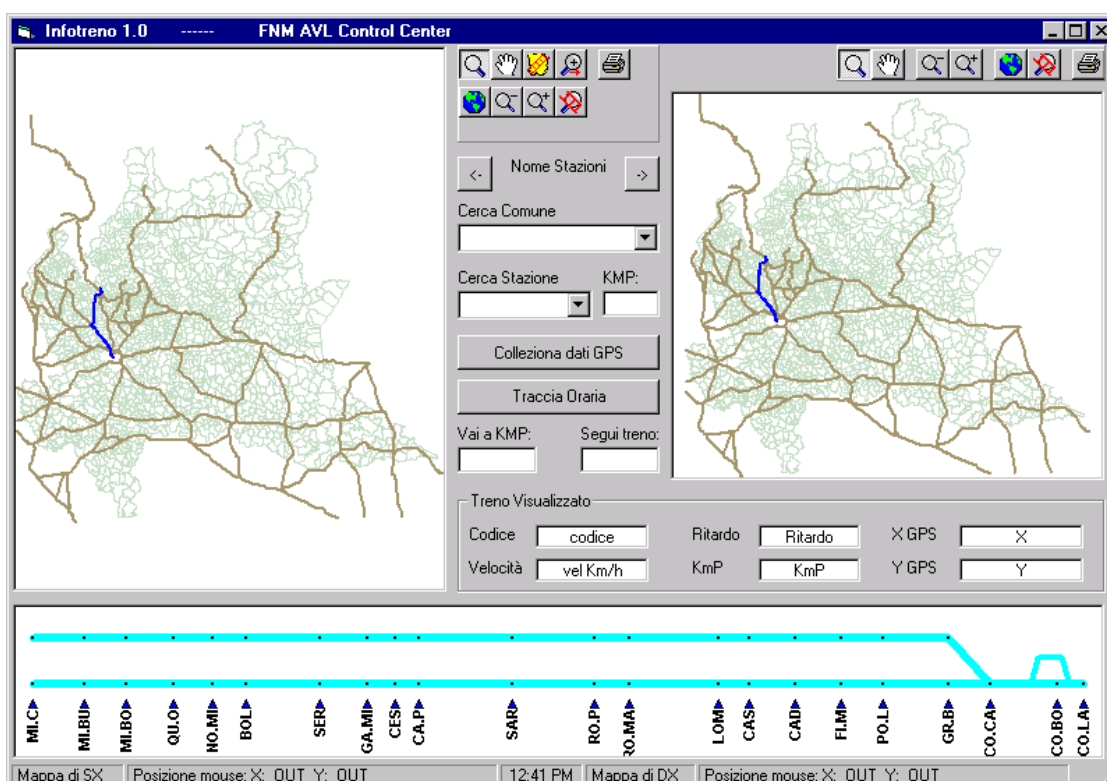



Figura 2.1 – Schermata iniziale dell'interfaccia GIS Infotreno 1.0

A lato di questo primo gruppo è posto il bottone che consente di stampare la porzione di mappa attualmente visualizzata. Il secondo gruppo di bottoni determina azioni immediate, cioè che hanno effetto direttamente all'atto di premerli.

- Il bottone la cui icona è un mappamondo, ridimensiona la mappa fino alla massima estensione, cioè viene visualizzato tutto il territorio regionale.
- Le due lenti di ingrandimento con il segno + o –, rispettivamente ingrandiscono (*zoom in*) e rimpiccioliscono (*zoom out*) la mappa di un fattore fissato a priori (1:2 e 2:1). La centratura della finestra sulla mappa non viene cambiata (figura 2.3).
- L'ultimo bottone a destra adatta la finestra e centra la visione sulla tratta FNM Milano-Como. Risultano visibili i limiti amministrativi, le linee e le stazioni ferroviarie FS e FNM delle Lombardia, la linea considerata (evidenziata in blu) e le rispettive stazioni (rappresentate da pallini gialli).

Sulla mappa 1 è inoltre possibile effettuare due tipi di ricerca spaziale: di un Comune compreso nel territorio lombardo e di una stazione appartenente alla linea FNM Milano-Como. Per attivare la ricerca basta inserire negli appositi campi, situati nella parte centrale della finestra e visibili in figura 2.3, i nomi dei Comuni o delle stazioni da individuare sulla mappa e digitare <invio>. Per facilitare l'utente in questa operazione i campi Ricerca sono stati muniti di menù a tendina (figure 2.4 e 2.5), che permettono di scegliere all'interno di un elenco di nomi in ordine alfabetico, gli elementi da individuare Una volta riempito il campo e digitato <invio>, la mappa 1 viene centrata sulla stazione od il comune cercato, tali elementi geografici vengono evidenziati in colore, fatti lampeggiare e viene loro associata un etichetta con il nome (vedi figure 2.6 e 2.7). Nel caso di ricerca stazione viene anche indicato in un apposito campo, il Km progressivo corrispondente alla sua posizione sulla linea a partire da Milano(vedi figura 2.5, campo KMP).

Figura 2.3 – Campi da riempire per la ricerca di Comuni e Stazioni

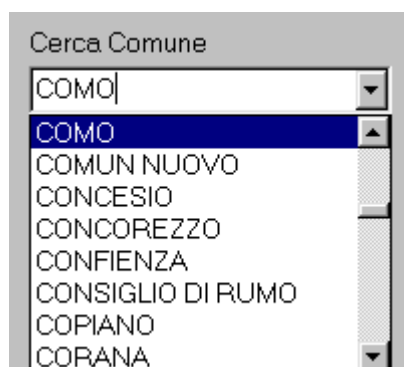



Figura 2.4 - Menù a tendina per la ricerca di Comuni della Regione Lombardia

Figura 2.5 - Menù a tendina per la ricerca di stazioni della linea FNM Milano-Como

Figura 2.6 –Individuazione di una stazione sulla mappa

<- Nome Stazioni ->

Figura 2.8 –Bottoni per etichettare le stazioni in mappa 1 e mappa 2

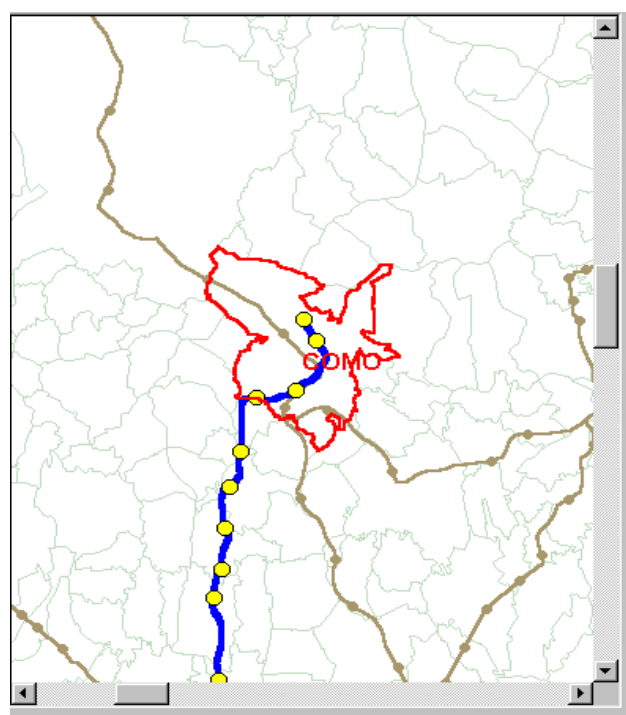



Figura 2.7 –Individuazione di un Comune sulla mappa

Con i bottoni posti sotto la barra degli strumenti della mappa 1, tra i quali vi è la scritta “Nomi Stazioni” (figura 2.8) è possibile etichettare le stazioni della tratta Milano-Como, sia in mappa 1 che in mappa 2.

Infine è possibile visualizzare la posizione di una progressiva chilometrica lungo la linea Milano-Como, sia sulla mappa 1 che sul quadro sinottico, inserendo il chilometro desiderato nel campo "vai a KMP", visibile in figura 2.1 e 2.11. La linea è lunga 45,927 Km, per cui inserendo un numero maggiore comparirà un messaggio di errore, così come quando viene inserita una stringa non numerica.

Mappa 2 e funzioni

La gestione grafica della mappa 2 avviene sostanzialmente nello stesso modo della mappa 1, tramite la barra degli strumenti che si trova in alto a destra (vedi figure 2.1 e 2.9). Partendo da sinistra abbiamo i bottoni che effettuano lo <u>*zoom*</u> dell'area selezionata, il <u>*panning*</u>, lo <u>*zoom out*</u> e lo <u>*zoom in*</u> di fattore rispettivamente 1:2 e 2:1. Il bottone la cui icona è un mappamondo effettua il ridimensionamento della mappa fino alla massima estensione e quello con la cui icona è una lente di ingrandimento centra la mappa sulla linea FNM Milano Como. Infine l'ultimo bottone stampa la porzione di mappa visualizzata.

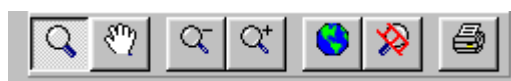



Figura 2.9 – Barra degli strumenti della mappa2

Da notare che la posizione del puntatore del mouse sulle mappe 1 e 2 viene riportata sulla barra di stato (figura 2.10), espressa in coordinate X,Y nel sistema UTM. Quando si esce dalla mappa con il puntatore, appare la scritta "OUT"(vedi figura 2.10).

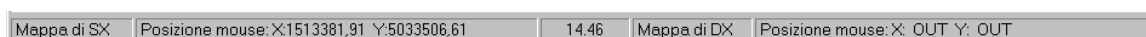
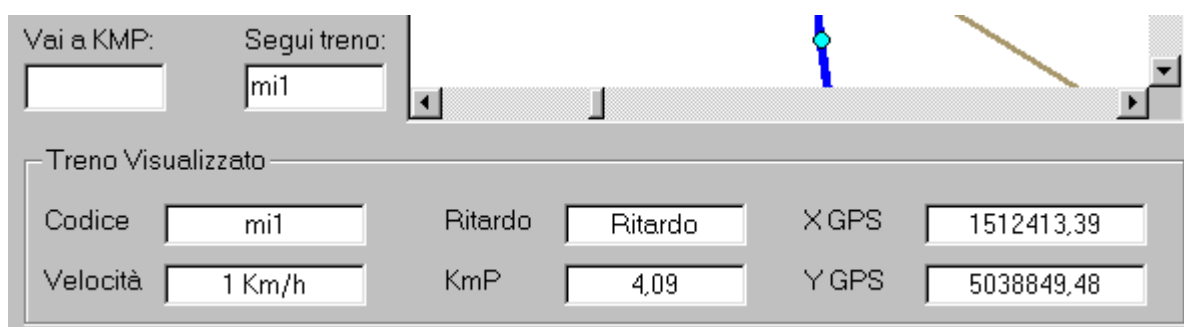



Figura 2.10 – Barra di stato riportante la posizione del puntatore sulle mappe in coordinate X,Y nel sistema UTM

Quadro sinottico

Sul quadro sinottico si possono effettuare solo le operazioni di *zoom in* e *zoom out* dell'area selezionata tenendo premuto rispettivamente il pulsante sinistro o destro del mouse.

Localizzazione treni

Premendo il pulsante "colleziona dati GPS" si dà inizio alla ricezione delle informazioni sulle unità mobili. I treni vengono visualizzati in mappa 1 tramite icone variabili a

seconda del loro stato di marcia: cerchiolino azzurro per marcia normale, triangolo rosso per il transito dalle stazioni e cerchiolino violetto quando la posizione è interpolata e non proviene dalla ricezione di segnali GPS. Sul quadro sinottico le convenzioni grafiche cambiano: la posizione dei treni lungo la linea è segnalata con quadratini (gialli o viola) o, nel caso di transito in stazione da un simbolo *truetype* del font ESRI Transportation and Municipal.

Durante il controllo della flotta è possibile scegliere un treno, digitando il suo codice nel campo "Segui treno" (figura 2.11) e seguire il suo movimento passo passo sulla mappa 2. Questa operazione comporta l'attivazione dei campi appartenenti al *frame* "Treno Visualizzato" (figura 2.11), che vengono riempiti con le informazioni relative al treno il cui codice è stato indicato dall'utente. Il chilometro progressivo è riportato a partire dalla stazione di partenza.

Figura 2.11 – Campi di visualizzazione delle informazioni relative ad un treno prescelto dall'utente ed indicato nella casella "Segui Treno" mediante il codice.

Visualizzazione dell'Orario Grafico

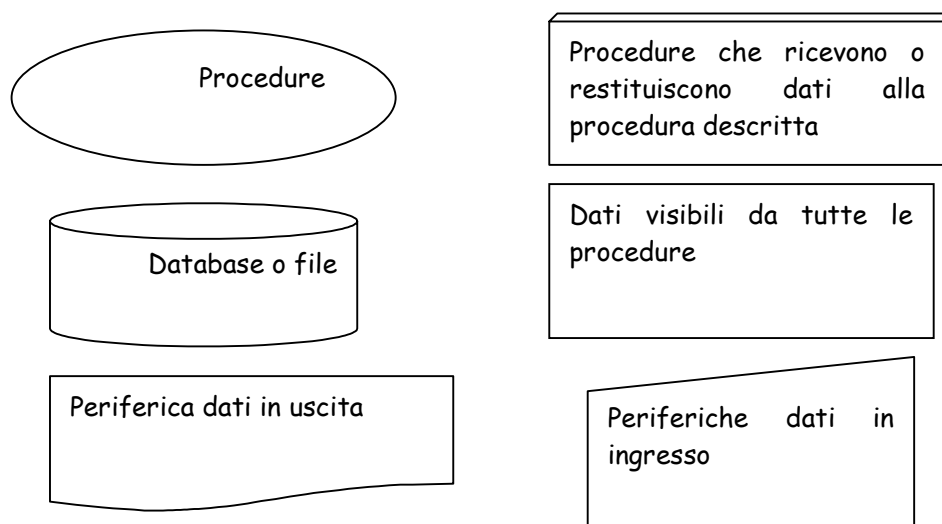
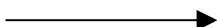
Tramite il pulsante "Traccia Oraria" si attiva una nuova finestra contenente la tabella di marcia teorica del treno selezionato nel campo "Segui Treno". Al grafico spazio-tempo dell'orario teorico (Tempo-Kmp) è possibile sovrapporre quello reale, cioè l'effettiva tabella di marcia che il treno sta seguendo nel suo percorso. Una volta attivata questa funzione tramite il bottone "Disegna traccia in tempo reale" che si trova sulla nuova finestra attivatasi, il grafico dell'orario reale viene riaggiornato ogni qualvolta perviene una nuova posizione dai ricevitori GPS.

Requisiti minimi di sistema

Per un corretto funzionamento del programma si consiglia una configurazione di sistema come la seguente: Processore Pentium a 233 Mhz, RAM 64 Mb, lettore CD-ROM 24x, scheda audio, Monitor con risoluzione 800x600 pixel. Tuttavia per garantire prestazioni più efficienti ed un rapido caricamento della cartografia, si consiglia l'uso di un procssore Pentium III a 500 Mhz, 128 Mb di RAM e risoluzione video di 1024x768 pixel.

APPENDICE 3

Questa appendice presenta una descrizione tecnica delle principali procedure del programma realizzato per le FNM. Particolare attenzione viene dedicata ai diagrammi di flusso dei dati (DFD), modello che illustra attraverso una semplice rappresentazione grafica le modalità con cui le procedure si passano le informazioni e agli algoritmi implementati per le applicazioni specifiche del GIS nel settore del trasporto su rotaia. Qui di seguito riportiamo l'indice delle forme grafiche utilizzate nei DFD.

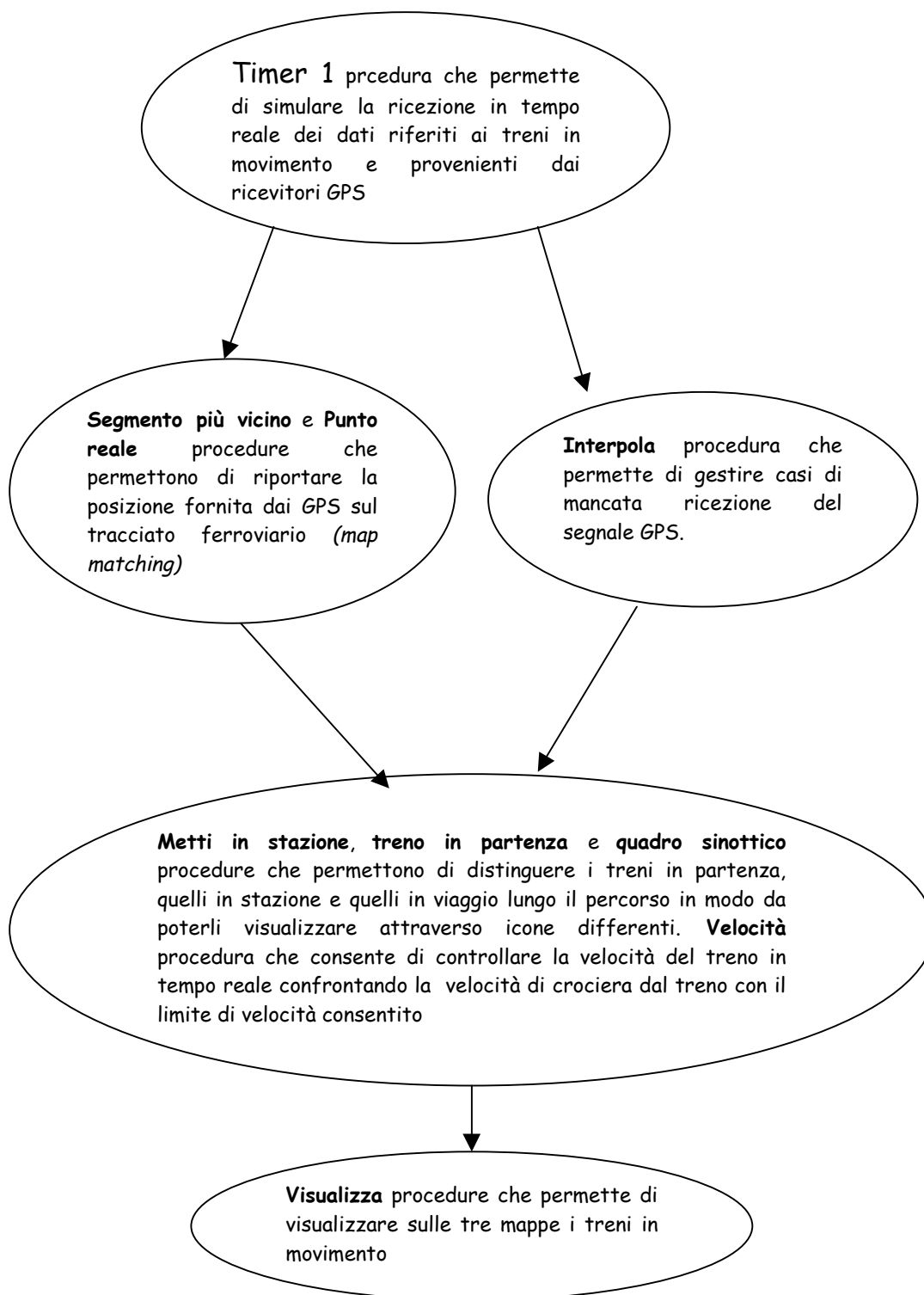
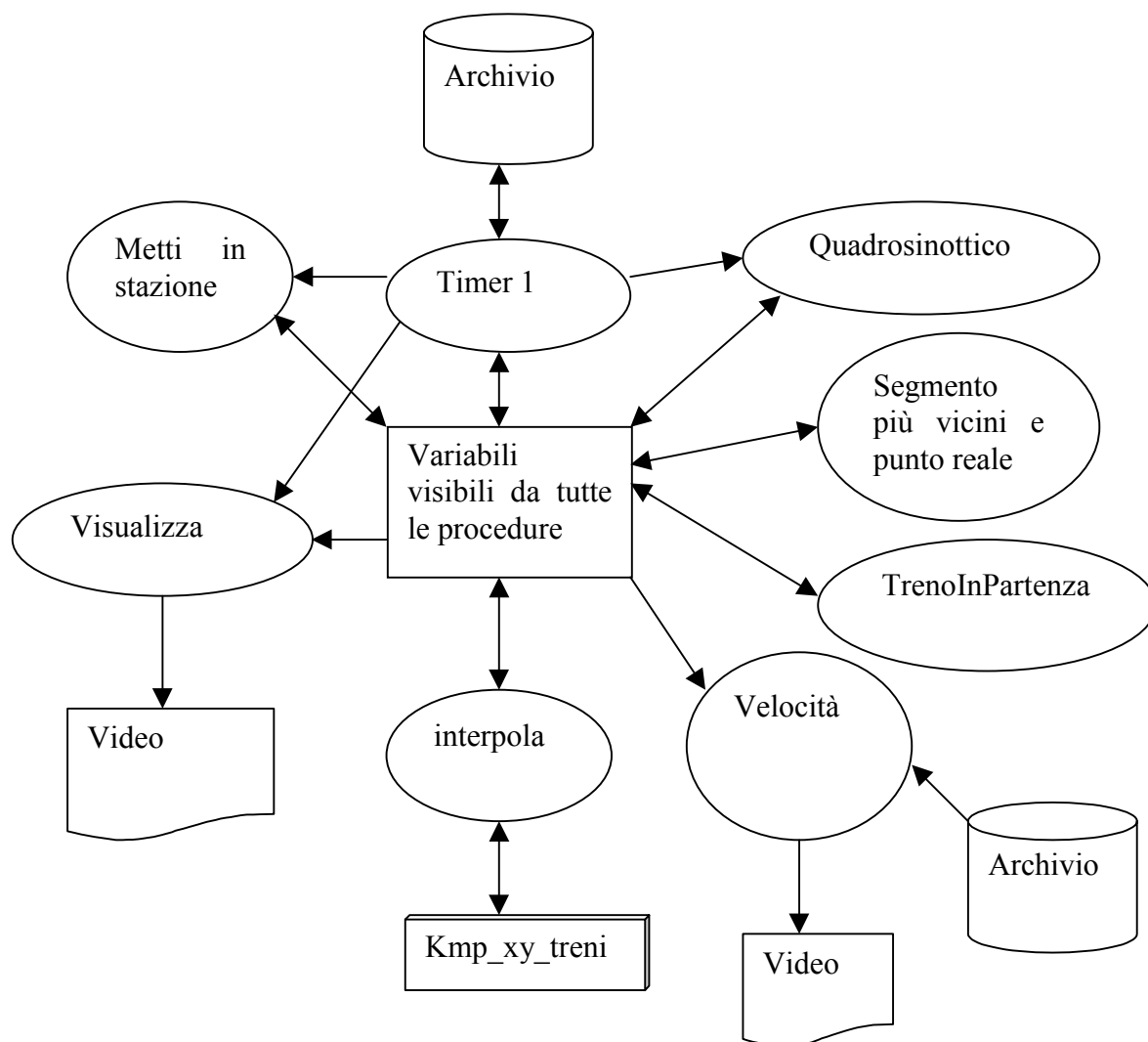
Indice delle forme grafiche:

Flusso di dati

Il simbolo di procedura o funzione indica un'operazione applicata ai dati forniti in ingresso e che produce dati in uscita.

Il flusso di dati rappresentato graficamente da una freccia rappresenta dati che fluiscono all'interno di un sistema da una procedura all'altra.

Simboli di ingresso rappresentano una sorgente di informazioni.

Simboli di uscita rappresentano il meccanismo con cui il sistema fornisce indicazioni all'esterno.

Simboli di archivio rappresentano un meccanismo mediante il quale il sistema memorizza informazioni.

La principale procedura del programma è Timer 1 che permette di simulare la ricezione dei dati GPS riferiti ai treni. All'interno di Timer 1 sono state implementate altre procedure per la correzione, l'estrapolazione, il controllo, la visualizzazione dei dati.

Qui vogliamo ricordare che la procedura Traccia Oraria, che nel capitolo 6 è stata descritta contemporaneamente alle procedure per il controllo delle informazioni chiamate dalla procedura Timer 1, è indipendente da quest'ultima. Trattandosi però di un algoritmo di controllo ci è parso opportuno descriverlo comunque in quella sede.

Procedura Public Sub Timer1_Timer ( )

Questa procedura viene chiamata dalla procedura `Private Sub Check1_Click ()` quando Timer1.Enabled assume valore uguale True. Viene attivata una volta ogni 1000 unità di tempo che corrispondono a 1000 millisecondi (1 sec). Noi abbiamo supposto che la centrale di controllo riceva i dati dai ricevitori GPS, montati sui locomotori, una

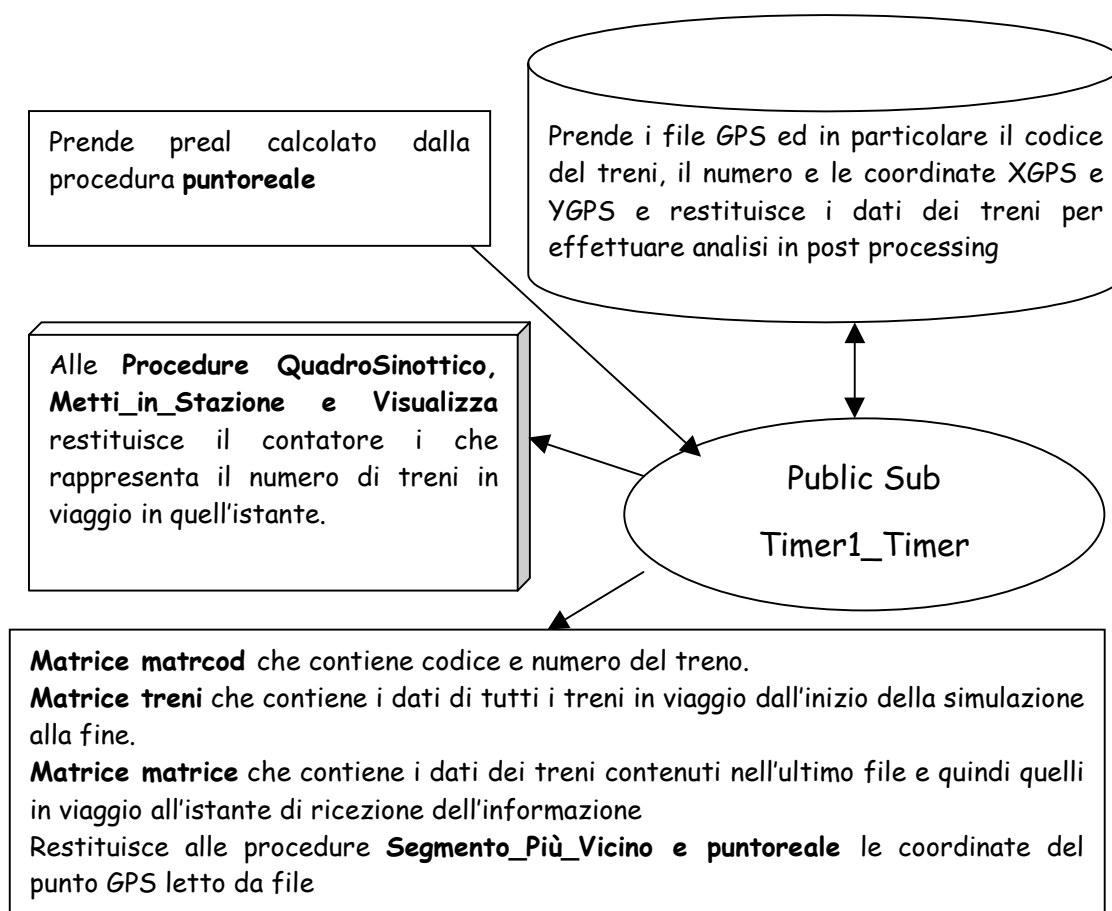
volta ogni 10 secondi. In realtà non possediamo i dati in tempo reale, ma abbiamo generato, in maniera conforme all'orario ufficiale delle FNM, dei file, con estensione .txt, nei quali abbiamo memorizzato il codice del treno e la sua posizione fornita dalla coppia di coordinate x, y inviate dal ricevitore (XGPS e YGPS). Per simulare la ricezione delle informazioni inviate dai treni abbiamo quindi utilizzato questa procedura che si dovrebbe attivare automaticamente, dopo aver selezionato il bottone "Colleziona dati GPS" una volta ogni 10 secondi. In realtà avendo deciso di simulare 1 ora e 20 minuti reali in 8 minuti effettivi la procedura si attiva una volta ogni 1 secondo. Così facendo in 8 minuti vedremo partire sette treni: quattro da Como e tre da Milano, ma ne vedremo arrivare solo due. Per questa ragione abbiamo creato 481 file .txt contenenti i dati riferiti ai treni in viaggio (481 per 10 secondi fanno esattamente 1 ora e 20 minuti, ma i file per ragioni di tempo non vengono letti una volta ogni 10 sec, ma una volta ogni 1 sec in modo che la simulazione duri 8 min.).

All'interno della procedura vengono chiamate 6 altre procedure:

- procedura_interpola
- Segmento_Più_Vicino
- Puntoreale
- TrenoInPatrenza
- QuadroSinottico
- Metti_in_Stazione
- Velocità
- Visualizza

L'algoritmo della procedura ad ogni passo, che corrisponde alla lettura di un nuovo file, raccoglie in una matrice chiamata treni i dati riferiti ai treni in viaggio: codice, numero coordinata X, Y, chilometro progressivo da Milano se il convoglio è partito da Milano e da Como altrimenti, velocità calcolata come rapporto tra la distanza percorsa dal treno nell'intervallo di tempo e l'intervallo di tempo stesso, e un codice che identifica il fatto che il segnale GPS sia stato inviato e ricevuto correttamente. Confrontando i dati memorizzati nella matrice treni, l'algoritmo controlla che la nuova posizione del convoglio sia consistente: ossia che il dato

ottenuto non faccia cambiare improvvisamente il senso di marcia e che quindi sia privo di senso. In questo caso la procedura considera il dato errato e non fa muovere il treno che si sposterà al passo successivo, sempre che il nuovo dato risulti consistente. Al termine di ogni passo memorizza in un'altra matrice, chiamata matrice, tutti i dati riferiti ai treni i cui dati erano contenuti nell'ultimo file letto e prima di mostrate gli eventi. Chiamando la procedura Visualizza, cancella tutti gli eventi(treni), riferiti al file precedente, dalle mappe. La procedura memorizza passo passo in appositifile i dati di ogni treni in modo da poter effettuare analisi in post processing.

Il DFD:

Procedura Interpola

La procedura Interpola è chiamata dalla procedura Timer 1 e permette di gestire la mancata ricezione del segnale GPS.

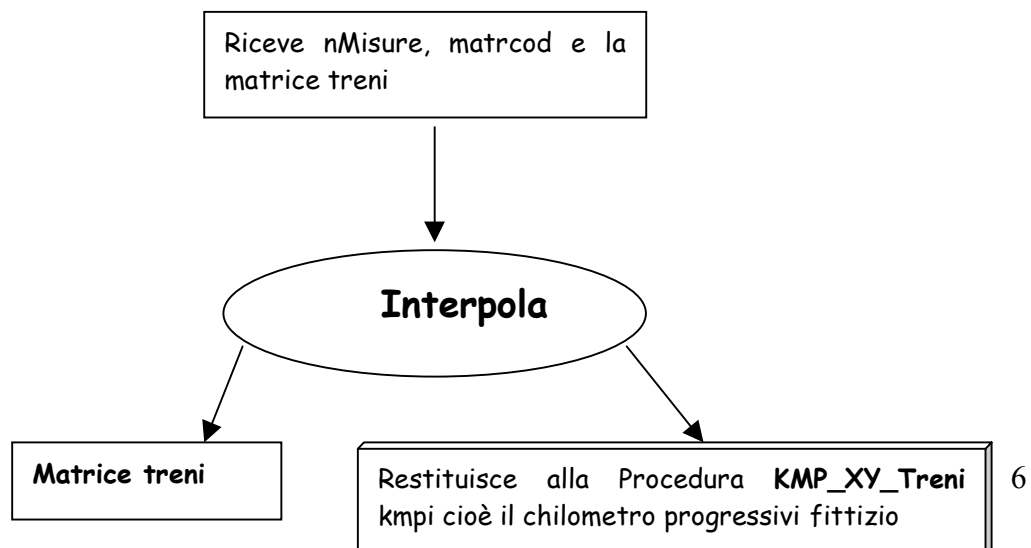
Quando all'interno del file GPS mancano le coordinate del treno o il segnale non giunge alla centrale operativa per errori di trasmissione radio allora l'algoritmo della procedura Interpola calcola una posizione fittizia nella quale il treno potrebbe trovarsi in base ad alcune ipotesi. L'ipotesi fondamentale è che il treno mantenga costante la velocità che aveva all'istante di misura precedente. L'algoritmo ricerca nelle matrice treni il dato riferito alla velocità che il treno possedeva al passo precedente e quindi calcola la possibile distanza percorsa come il prodotto delle velocità per il passo temporale, che nel nostro caso è di 10 secondi.

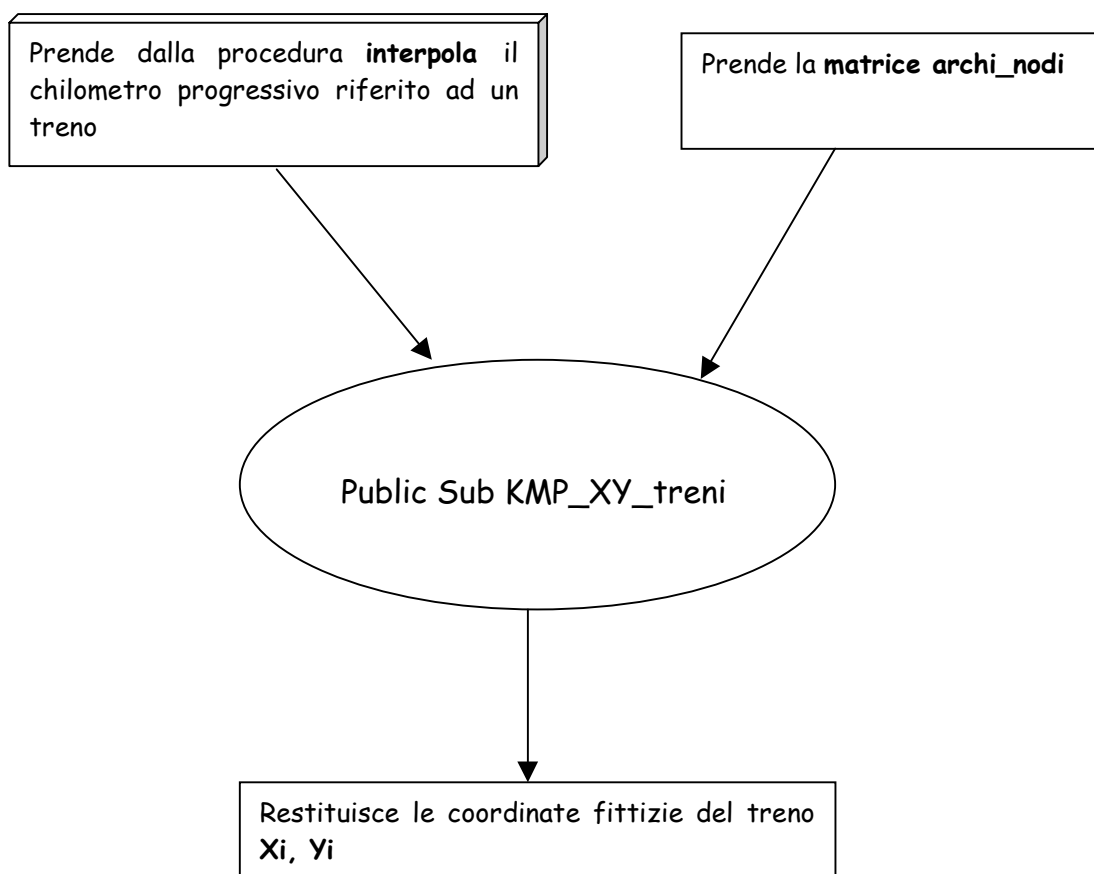
Quindi nota la distanza percorsa dal treno l'algoritmo calcola il chilometro progressivo fittizio.

La procedura Interpola chiama la procedura KMP_XY_Treni che, noto il chilometro progressivo fittizio, calcola le corrispondenti coordinate X,Y sulla linea ferroviaria. In questo caso queste coordinate corrispondono alle coordinate ipotizzate del treno di cui non si sono ricevuti i dati.

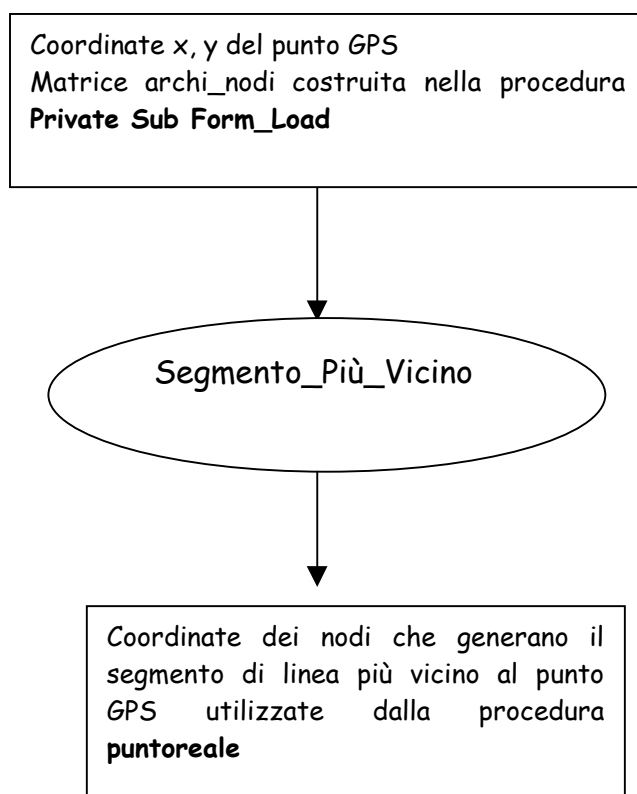
All'interno di questa procedura viene chiamata anche la procedura TrenoInPartenza che gestisce il fatto che il treno si in partenza a Milano o a Como.

L'algoritmo distingue questo caso dal caso classico in cui i dati sono stati ricevuti identificandoli attraverso una "i" di interpola che viene memorizzata nelle matrice treni in settima riga.

Il DFD:

Procedura Public Sub KMP_XY_treni

Questa procedura, chiamata dalla procedura Interpola, permette di calcolare le coordinate X, Y di un punto di cui è noto il chilometro progressivo. La procedura riceve dalla Interpola il chilometro progressivo fittizio kmpi e calcola le rispettive coordinate Xi, Yi. L'algoritmo cerca nella matrice archi_nodi, attraverso un confronto tra i chilometri progressivi, i due nodi tra cui risulta compreso il punto. Quindi calcola seno e coseno della retta passante per i due nodi e poi attraverso l'applicazione dellle proprietà trigonometriche calcola la Xi e Yi corrispondenti.
Il DFD:

Procedura Segmento_più_vicino

La procedura Segmento più vicino trova il segmento di ferrovia a distanza minima dal punto GPS. La distanza corrisponde alla lunghezza del segmento che congiunge il punto GPS con il punto medio dell'arco di ferrovia. In entrata riceve, dalla procedura Privat Sub Form Load, la matrice archi_nodi nella quale sono memorizzati tutti i 513 nodi che generano la linea ferroviaria e dalla procedura Timer 1 le coordinate x, y del punto GPS. L'algoritmo calcola la distanza tra il punto GPS e ogni arco della linea. A ogni passo memorizza i nodi del segmento se questo risulta essere a una distanza inferiore, rispetto all'arco precedente, dal punto GPS. Alla fine dopo aver calcolato 512 distanze la funzione restituisce a visione globale i due nodi di inizio e fine del segmento più vicino al punto GPS e il valore della distanza.

Il DFD:

Procedura Puntoreale

La procedura Puntoreale viene chiamata dalla procedura Timer 1 per riportare sulla linea ferroviaria il punto GPS che cadrà nel 95% dei casi in una porzione di area delimitata da una circonfrenza di raggio 10 m e con centro nel punto in cui si trova realmente il convoglio. L'algoritmo riporta le coordinate fornite dal GPS sulle rotaie.

Puntoreale riceve in entrata le coordinate del punto GPS, visibili da tutte le procedure, ma lette da file dalla procedura Timer1 e le coordinate dei nodi del segmento di ferrovia più vicino al punto stesso calcolate dalla procedura Segmento_Più_Vicino.

L'algoritmo calcola il coefficiente angolare e intercetta della retta (a) passante per i due nodi, quindi calcola il coefficiente angolare e l'intercetta di una retta (b) perpendicolare alla (a) e passante per il punto GPS. Il punto reale è l'intersezione delle due rette, come mostrato in figura 1. Questa procedura restituisce le coordinate del punto reale che rappresentano le coordinate del treno utilizzate dalla procedura Timer1.

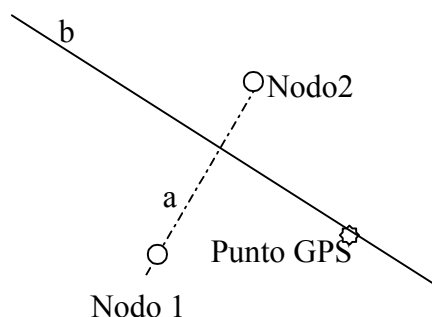
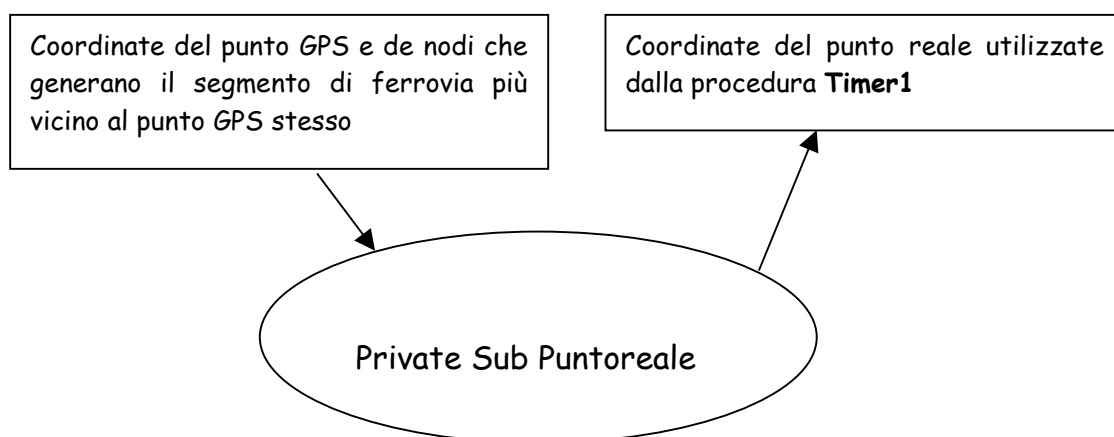
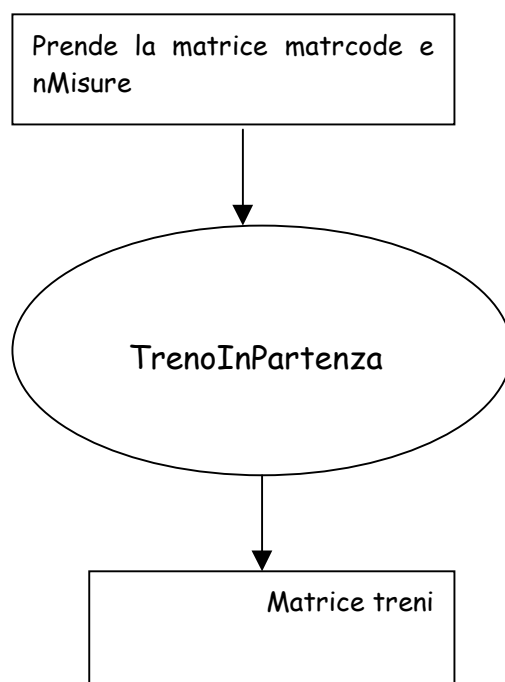



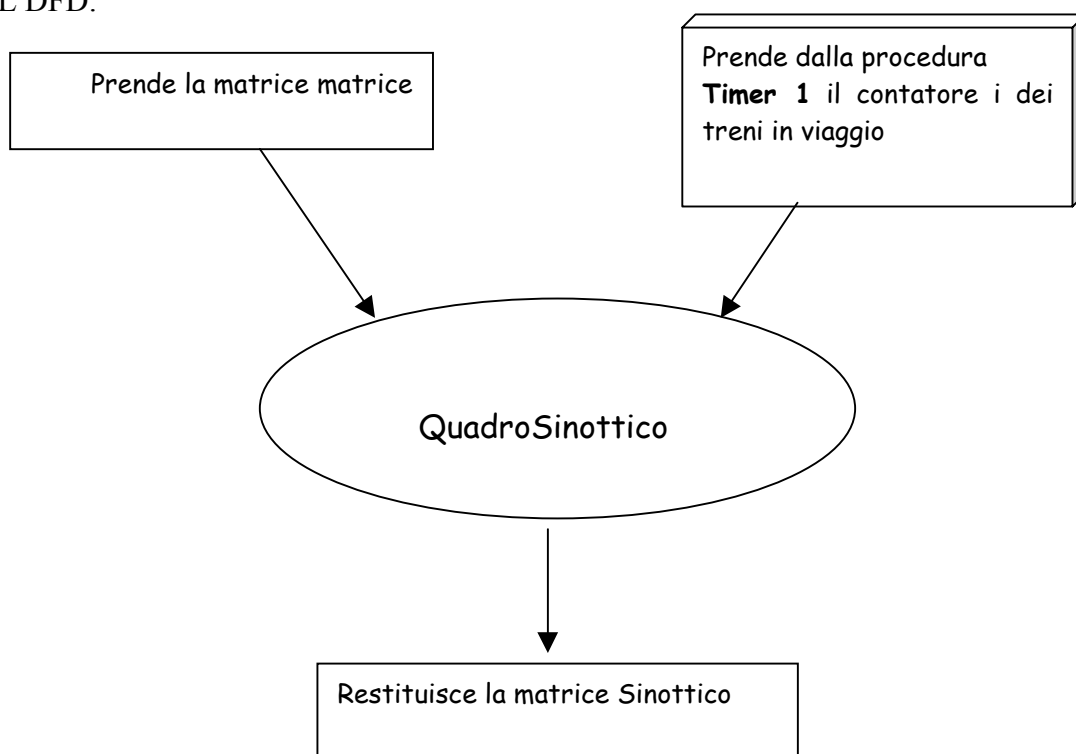
Figura 1

Il DFD:

Procedura TrenoInPartenza

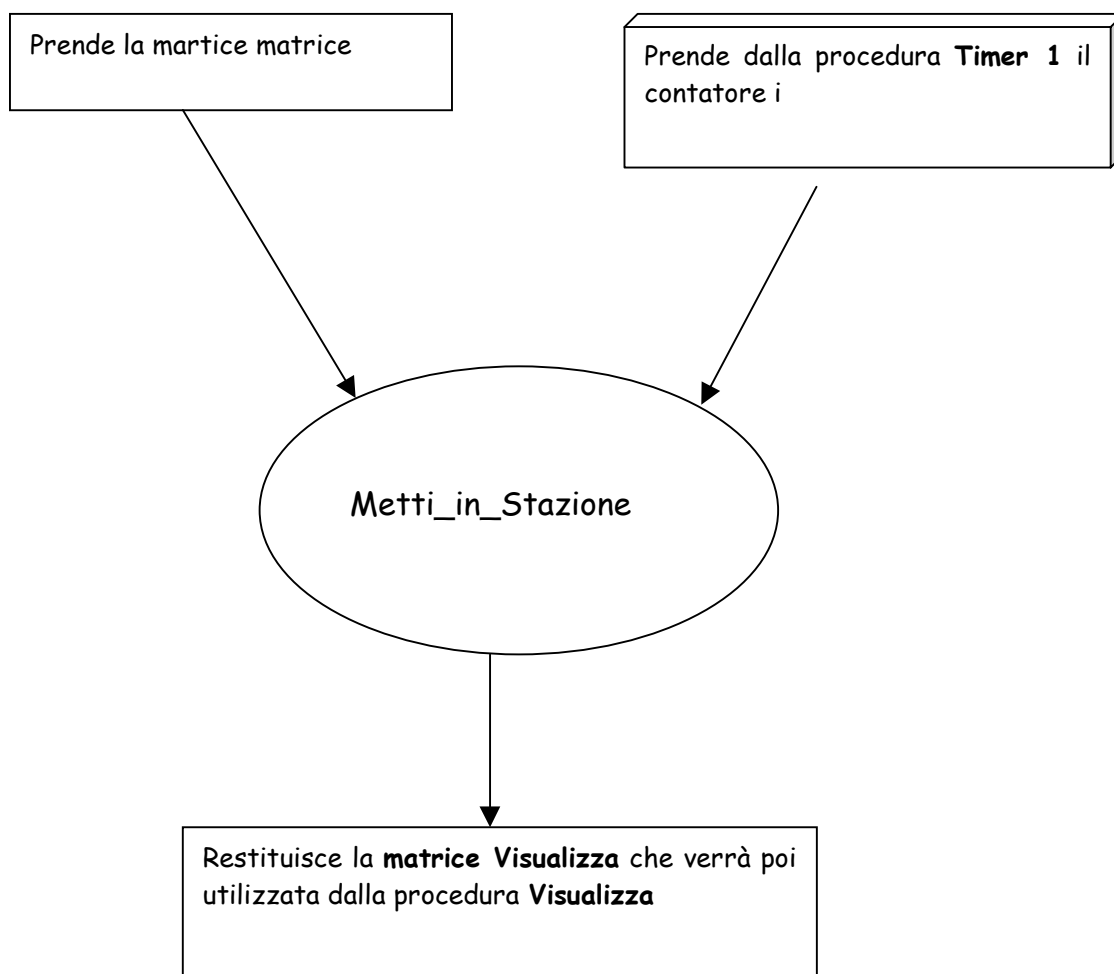
Questa procedura viene chiamata dalla procedura Timer 1 quando l'algoritmo timer 1 non trova nelle matrice treni un convoglio con lo stesso codice di quello corrente e dalla procedura Interpola quando l'algoritmo non ha trovato il treno nella matrice treni. Questo significa che il treno è in partenza da Milano o da Como e quindi a seconda dalla città si partenza vengono memorizzate all'interno delle matrice treni: il codice, il numero, le coordinate della stazione di partenza, il chilometro progressivo pari a zero e la velocità anch'essa pari a zero.
Il DFD:

Procedura QuadroSinottico

Questa procedura, chiamata dalla procedura Timer 1, permette di posizionare i treni sul quadro sinottico. L'algoritmo attraverso un confronto tra il chilometro progressivo del treno e la posizione della stazione di Como Camerlata sa se posizionare il treno sulla

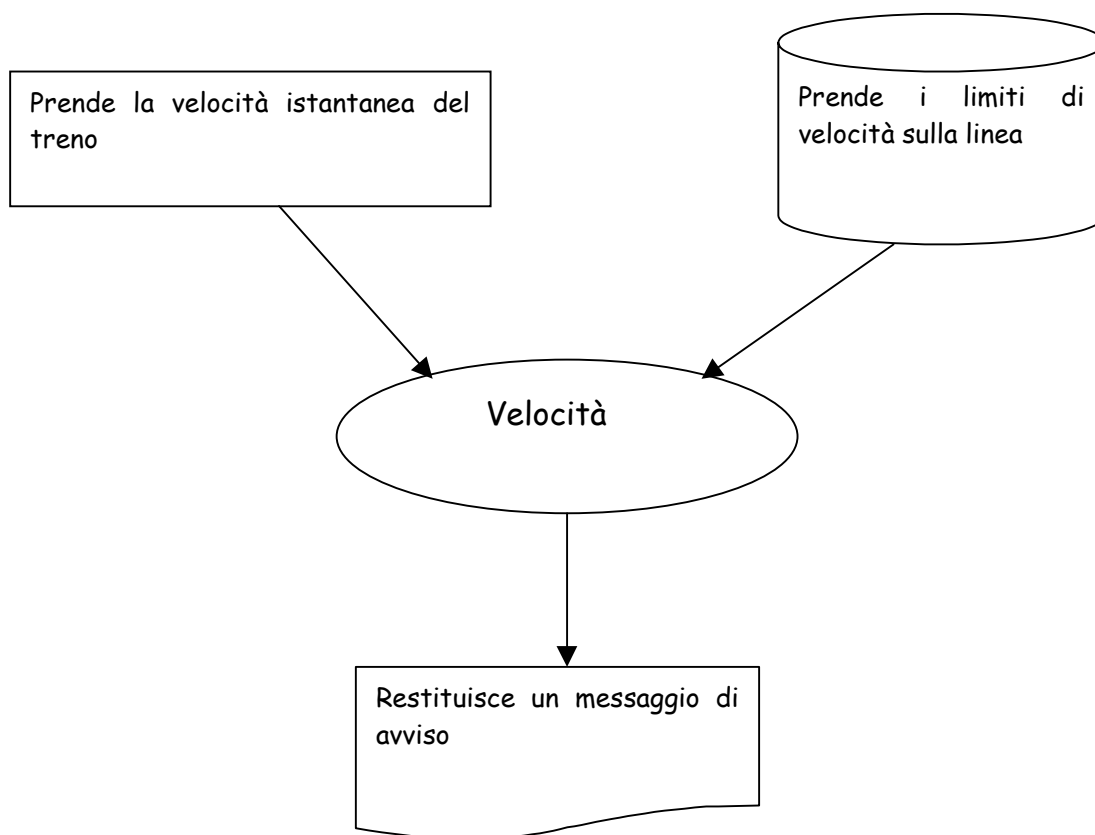
tratta a doppio binario o a singolo. Poi attraverso un altro confronto separa i treni sui due binari nella sola stazione di Como Borghi. L'algoritmo separa i treni partiti da Milano che viaggiano sulla tratta superiore (binario dispari) da quelli partiti da Como che viaggiano sulla tratta inferiore (binario pari). La procedura riceve tutti i dati dei treni attraverso la matrice matrice e restituisce i dati per rappresentare i convogli sul quadro sinottico in una matrice chiamata Sinottico.

IL DFD:

Procedura Metti_in_Stazione

Questa procedura, chiamata dalla procedura Timer 1, permette, attraverso un confronto fra le distanze, di identificare i treni in prossimità di una stazione. Se il convoglio si trova ad una distanza inferiore a 70 m da una stazione questo viene segnalato attraverso l'indicatore "S" memorizzato nelle matrice Visualizza.

Il DFD:

Procedura Velocità

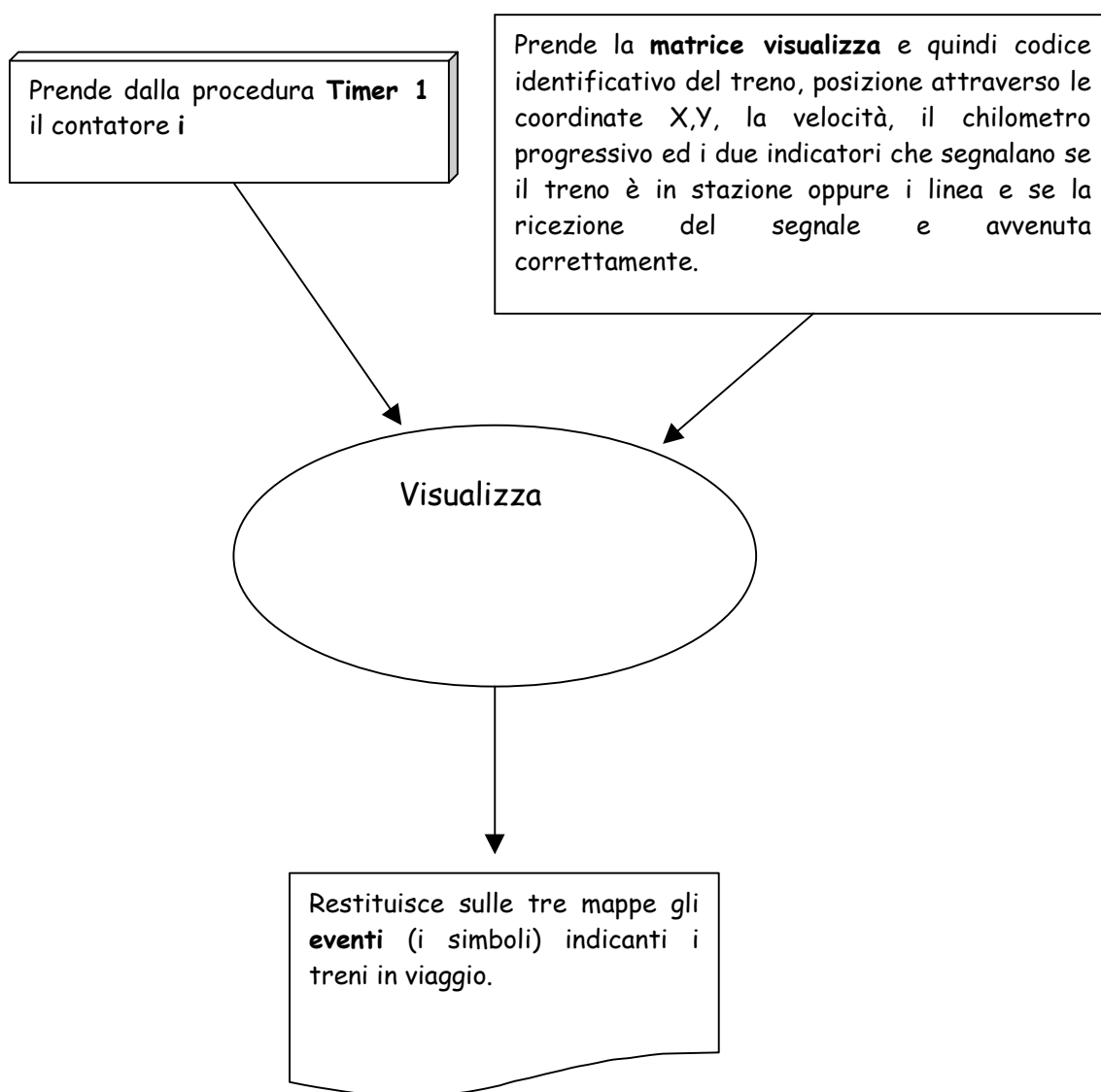
Questa procedura, chiamata dalla Timer 1, controlla in tempo reale la velocità del treno confrontandola con la velocità nominale di tratta. I limiti di velocità sono fissati per ogni tratta delimitata dalle stazioni e nelle tratta a singolo binario possono essere differenti a seconda del senso di marcia. L'algoritmo quindi confronta la velocità di crociera del convoglio con la massima consentita nelle tratta e se il limite viene superato fa comparire sul video un messaggio di allarme. L'algoritmo riceve la velocità del treno dalla procedura Timer 1 e carica da file i limiti di velocità per tratta e restituisce in caso di pericolo un messaggio a video

Il DFD:

Procedura Visualizza

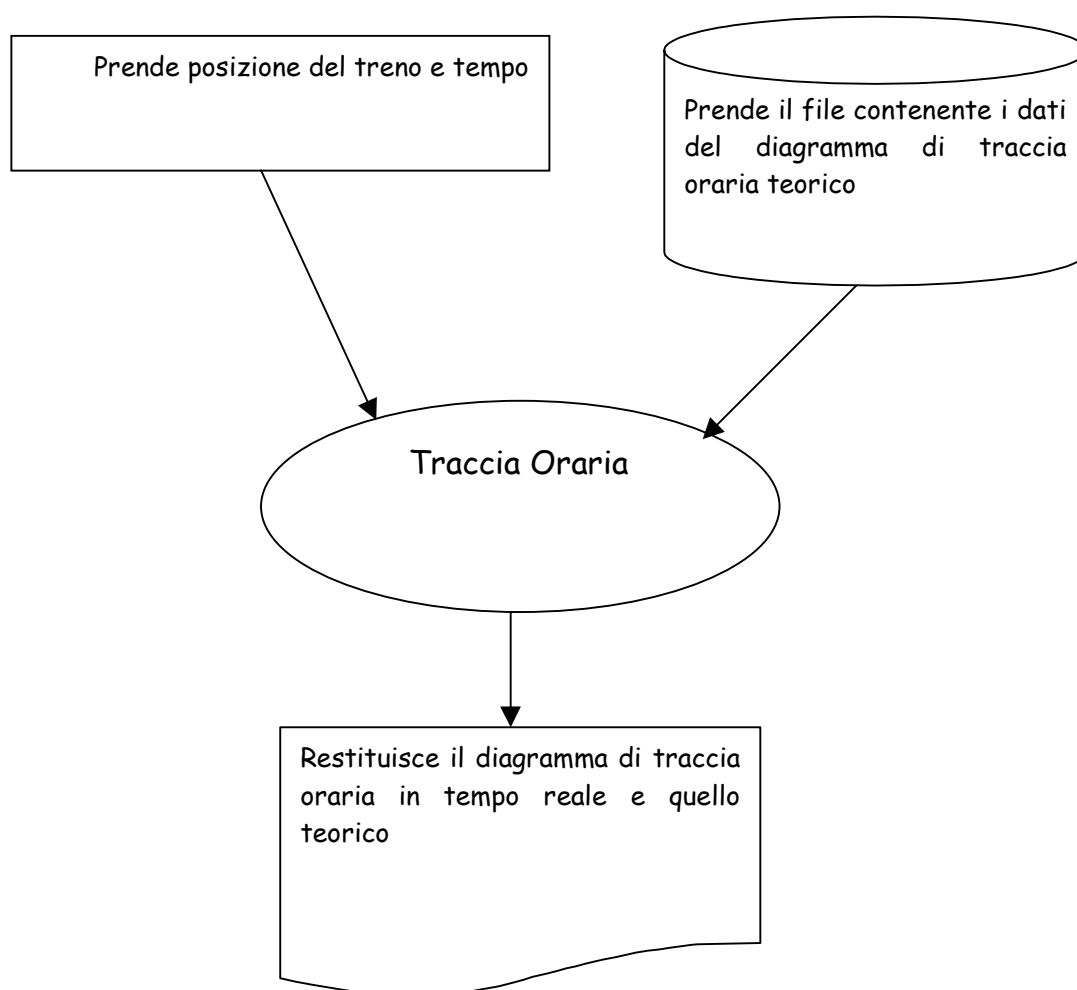
Questa procedura, chiamata dalla procedura Timer1, permette di visualizzare sulla tre mappe gli eventi, che rappresentano i treni in viaggio. Riceve dalla procedura Timer 1 il contatore i che conte i convogli in viaggio all'istante della rappresentazione.

L'algoritmo deve decidere con che simboli rappresentare i treni nella mappa 1 diversi a seconda che il treno sia in linea (pallino azzurro), in stazione (triangolo rosso) oppure che la posizione non sia quella ricevuta dai ricevitori GPS, ma si quella ipotizzata cioè calcolata attraverso la procedura Interpola (pallino Lilla). Se il treno si trova in stazione, ma il segnale non è arrivato il convoglio viene rappresentato da un pallino lilla.

Nella mappa 2, se nella finestra "Segui treno" appare il codice di un treno, l'algoritmo distingue il treno a seconda che sia in linea (pallino azzurro), in stazione (pallino rosso), oppure che la misura GPS non sia stata ricevuta correttamente (pallino lilla).

L'algoritmo fa comparire nelle apposite caselle i dati riferiti al treno: codice, chilometro progressivo, posizione attraverso le coordinate X,Y, la velocità e il ritardo.
Nel quadro sinottico l'algoritmo distingue il simbolo da associare al treno a seconda che questo sia in linea (quadrato nero), in stazione (treno rosso), o quando il segnale GPS non è stato ricevuto correttamente (quadrato lilla).
Il DFD:

Procedura Traccia oraria

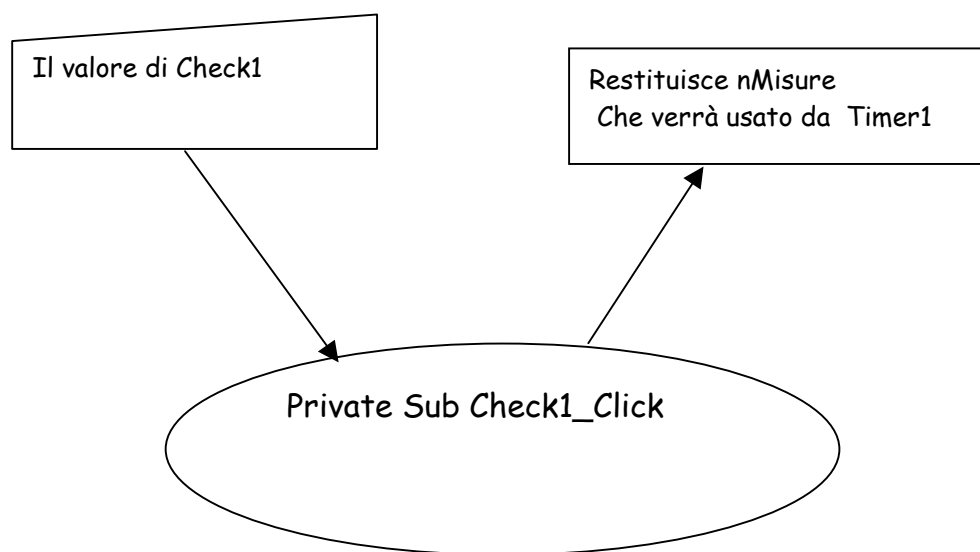
Questa procedura si attiva se l'utente selezione il bottone "Traccia Oraria" e permette di visualizzare in tempo reale il diagramma di traccia oraria di un terno. La finestra mostra anche il diagramma di traccia oraria teorico ed esegue un confronto tra i due in modo da poter determinare in tempo reale eventuali ritardi. L'algoritmo assegna ad X il valore del tempo, letto dal file GPS, e ad Y il valore del chilometro progressivo del treno memorizzato in matrice treni. Quindi passo passo disegna il grafico in una finestra nelle quale compare anche il diagramma di traccia oraria teorico disegnato in base a dati letti da file.

Il DFD:

Procedura Private Sub Check1_Click()

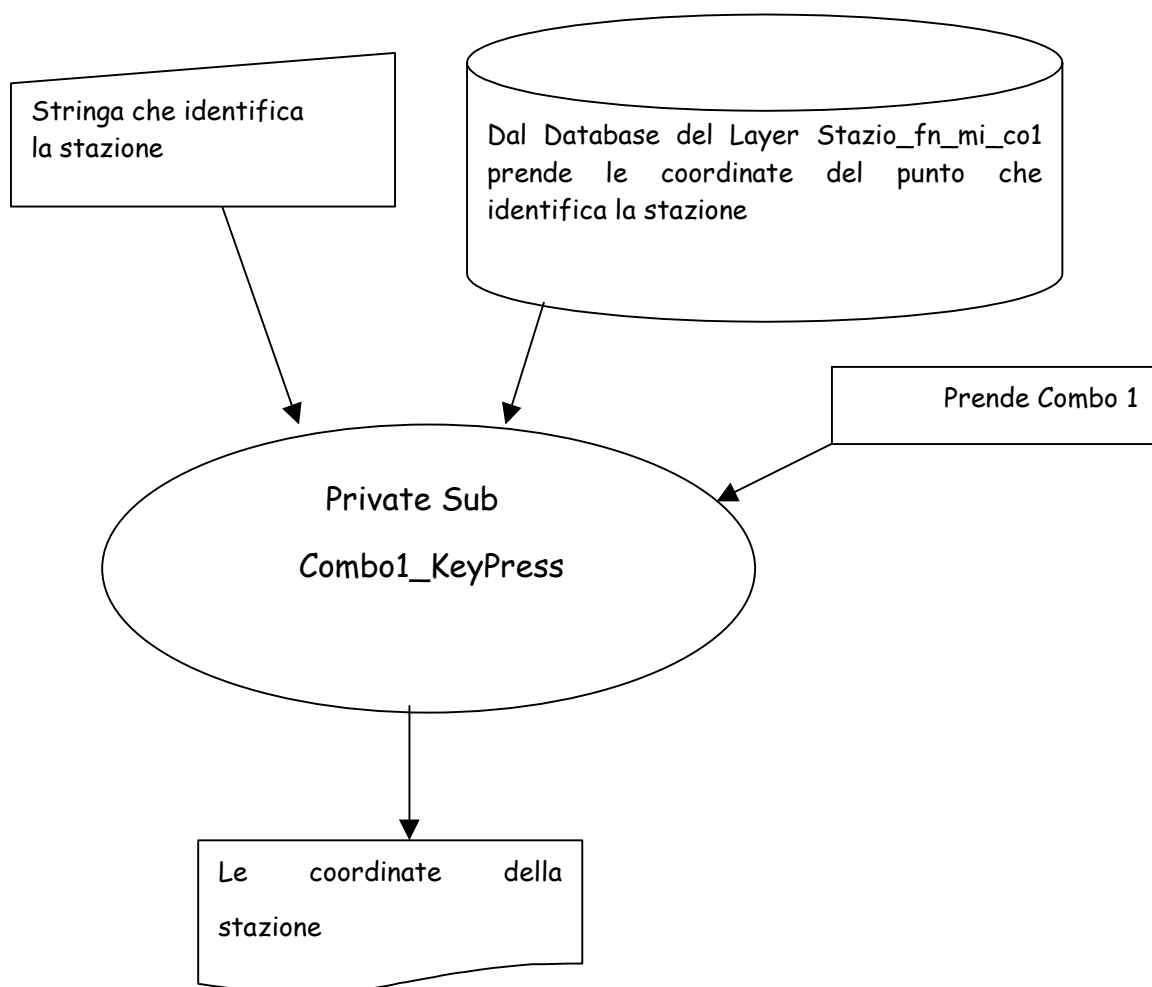
Questa procedura permette, una volta selezionato l'apposito bottone, di attivare la procedura Timer 1 che simula la ricezione dei dati GPS e permette di visualizzare i treni.

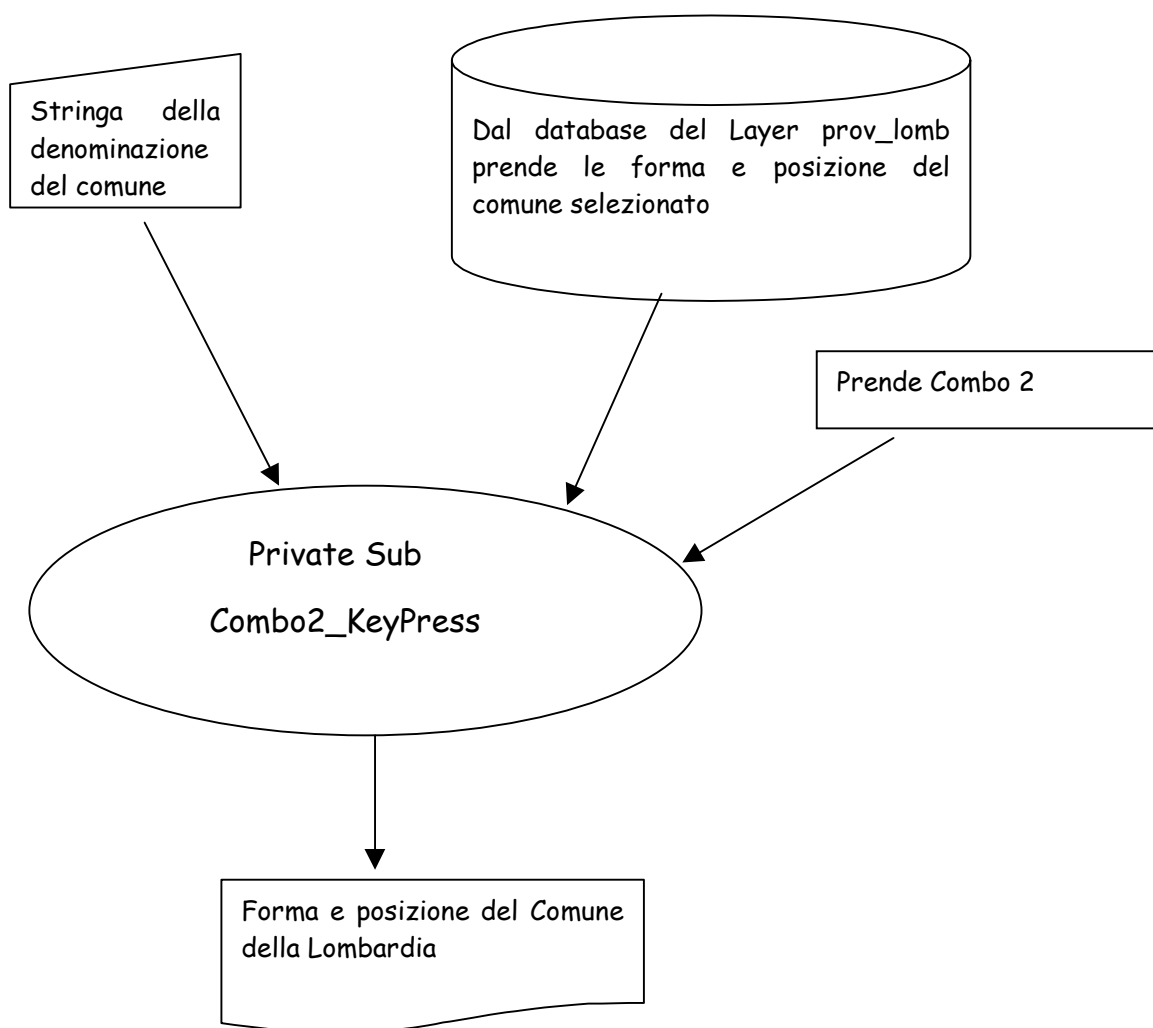
Se Check1.Value= 0 cioè se il bottone "Colleziona dati GPS" non è selezionato allora l'algoritmo cancella tutti gli eventi, le etichette e pone a zero nMisure (il contatore delle misure lette che serve alla procedura Timer1)

Altrimenti, cioè se il bottone è selezionato, l'algoritmo attiva la procedura Timer1 una volta ogni 1000 unità temporali che corrispondono a 1 secondo.

Il DFD::

Procedura Private Sub Combo1_KeyPress (KeyAscii As Integer)

Questa procedura consente di visualizzare, sulla mappa 1 una stazione selezionata dall'utente. Sul video appare infatti una finestra "Cerca Stazione" che fornisce un menù a tendina nel quale vengono elencati, in ordine alfabetico, i nomi di tutte le stazioni. L'elenco è stato caricato da un'altra procedura in una finestra chiamata Combo1. L'utente può selezionarne una e automaticamente l'algoritmo della procedura cerca nel databese corrispondente il punto la cui denominazione coincide con il nome selezionato dall'utente. Quindi l'algoritmo ridisegna la mappa "zoommando" sulla stazione e fa lampeggiare 5 volte la stazione.

Il DFD::

Procedura Private Sub Combo2_KeyPress(KeyAscii As Integer)

Questa procedura permette all'utente di ricercare e visualizzare sulla mappa 1 un comune della Lombardia. Sullo schermo compare una finestra "Cerca Comune" che, se selezionata, mostra, in un menù a tendina, l'elenco dei comuni in ordine alfabetico (caricato nelle finestra Combo2). L'utente può selezionare uno e l'algoritmo della procedura cerca all'interno del database del layer dei limiti amministrativi della Lombardia, quello con uguale denominazione. Quindi l'algoritmo effettua uno zoom sul comune, ridisegna la mappa centrata sul comune stesso e lo fa lampeggiare 5 volte.
Il DFD:

Procedura Private Sub Form_Initialize()

Questa procedura inizializza le tre mappe e le pone a massima estensione.

Procedura Private Sub Form_Load()

In questa procedura vengono:

- definiti i simboli per ogni evento che rappresenta un treno in viaggio, per ogni mappa;
- definiti i suoni;
- create, a partire da file con estensione txt, la matrice archi_nodi e Stazioni;
- caricati gli elenchi delle stazioni e dei comuni della Lombardia in Combo 1 e Combo 2.

Questa procedura chiama la procedura InitializedMapData.

Nella Mappa 1 viene definito come simbolo (0) un cerchio azzurro che rappresenta i treni in viaggio lungo la linea, un cerchio lilla, simbolo (1) che rappresenta i treni il cui segnale GPS risulta assente e un triangolo rosso, simbolo (2) che rappresenta i terni in stazione.

Nella Mappa 2 viene definito come simbolo (0) un cerchio azzurro per indicare il treno in viaggio lungo la linea, come simbolo (1) un cerchio lilla per segnalare la mancata ricezione del segnale GPS e un cerchio rosso, simbolo (2) per indicare il treno in stazione.

Nella Mappa 3 viene definito come simbolo (0) un quadrato giallo che indica il terno in viaggio, come simbolo (1) un treno rosso che indica il convoglio in stazione e un quadrato lilla che indica il mancato ricevimenti di informazioni GPS.

Nella matrice archi_nodi vengono memorizzati il numero del nodo, calcolato a partire da Milano, le sue coordinate (x,y), la distanza calcolate da nodo a nodo e il chilometro progressivo calcolato a partire da Milano.

Nella matrice Stazioni vengono memorizzati: il nome della stazione, le sue coordinate (x, y), il chilometro progressivo a partire da Milano e da Como.

Il DFD:

Prende dal file archi_nodi.txt il numero del nodo, le sue coordinate, la distanza tra nodo e nodo e la distanza progressiva a partire de Milano. Prende dal file stazioni.txt il nome delle stazioni, le coordinate e il corrispondente chilometro progressivo calcolato a partire da Milano e da Como. Carica il suono. Dal database stazio_fn_mi_co1 e prov_lomb carica la lista delle denominazioni.

Tre simboli per ogni mappa utilizzati dalla procedura Timer1
Elenco delle stazioni e dei comuni della Lombardia in Combo1 e Combo2 utilizzati dalle procedure Sub Combo1_KeyPress e Sub Combo2_KeyPress
Matrice archi_nodi e Stazioni utilizzate della procedura Timer1
Suono associato al bottone "Colleziona dati GPS" richiamato nella procedura Sub Check1_Click

Procedura Sub InitialiseMapdata ( )

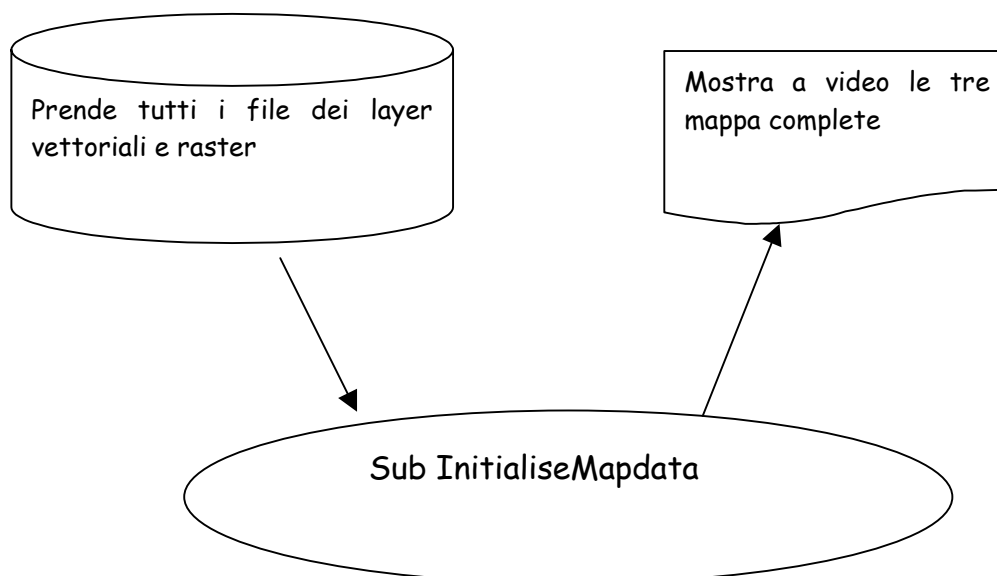
Questa procedura carica tutti i layer nelle diverse mappe. Inizialmente carica nella mappa 1 le immagini in formato raster in scala 1:10000. Questi file sono tutti con estensione .tif.

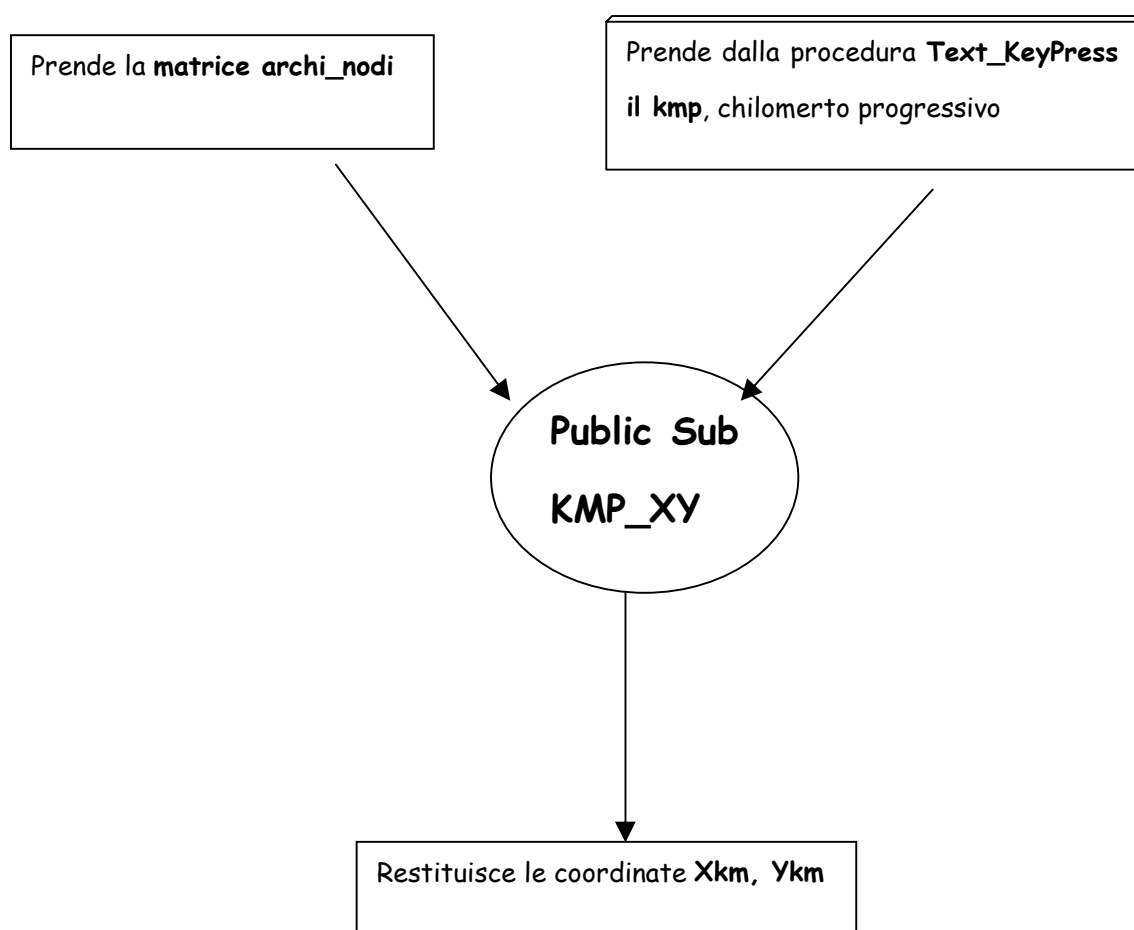
Poi carica il layer in formato vettoriale nella mappe 1 e 2

- limiti amministrativi comunali delle regione Lombardia dal database porov_lomb
- linea ferroviaria FS e FNM della Lombardia dal database ferr_lomb
- stazioni FS e FNM della Lombardia dal database stazio
- arco di ferrovia Milano-Como delle FNM dal database fn_mi_co1
- stazioni della tratta Milano-Como dal database stazio_fn_mi_co

Quindi carica i layer del quadro sinottoco, mappa 3:

- etichette delle stazioni dal database staz_et
- stazioni del sinottico dal database staz_sin e staz_sin_pun
- la linea del sinottico dal database sinottico
- i margini della mappa dal database sin_margini
- le deviazioni dalla linea principale in corrispondenza della stazione di Como Borghi dal database

Il DFD:

Procedura Public Sub KMP_XY (kmp as double)

Questa procedura, chiamata dalla procedura Text1_keyPress, calcola la coordinata X e Y di un punto sulla linea ferroviaria di cui è noto il chilometro progressivo. L'algoritmo calcola il seno e coseno della retta passante per i due nodi che contengono il punto e poi attraverso regole trigonometriche calcola le coordinate.
Il DFD:

APPENDICE 4

BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA

A chi volesse approfondire i temi GIS, GPS, uso congiunto delle due tecnologie e sistemi AVL, consigliamo una serie di testi, da noi consultati, ma non citati all'interno dei capitoli. Per comodità del lettore riportiamo un breve commento per ogni lettura e organizziamo l'elenco in ordine alfabetico di autore. Al termine della bibliografia presentiamo anche un elenco di pagine Web che riteniamo utili ed interessanti per affrontare i sopraddetti argomenti. Anche in questo caso, viene inserito un breve commento.

Alonso et altri (1998), "Cellular information system", atti della Conferenza Internazionale utenti ESRI.
Viene descritto il sistema informativo della compagnia spagnola Telefonica volto a monitorare in tempo reale il grado di copertura della rete di telefonia cellulare da parte dei ripetitori. Interessante è l'uso congiunto di un GIS diffuso agli uffici competenti (client) tramite MapObjects Internet Map Server, un database Oracle ed il motore di ricerca spaziale SDE.

Biallo G. (1996), "Dalla geografia al GIS: venticinque secoli di storia", *MondoGis*, n°1.
Articolo sulla storia della geografia dal 550 a.c. ai giorni nostri, dalle prime carte geografiche fino ai GIS, che recentemente si sono diffusi anche nei paesi europei. In Italia Provincie e Regioni stanno adottando sistemi informativi territoriali.

Biallo G. (1999), ”Il GIS e la pubblica amministrazione”, *MondoGis*, n°10.
L'articolo descrive i campi di applicazione dei GIS nelle amministrazioni comunali e provinciali, elencandone i vantaggi e la potenzialità.

Bourgeois M. e Pray S. (1998) "Collecting Data at the Speed of Sound", atti della Conferenza Internazionale utenti ESRI.

Vengono illustrate le potenzialità dell'uso congiunto di GPS e sensori vocali per inserire dati in tempo reale in un sistema GIS. L'utilità si riscontra non solo nei campi del rilievo topografico e della manutenzione stradale, ma anche nella registrazione di violazioni al codice stradale e nella segnalazione di emergenze alla centrale operativa di pronto intervento.

Carlucci R. (1998), "L'integrazione di Remote Sensing GIS e GPS", *GeoMedia,* Gennaio.

L'articolo descrive in che modo il GPS può entrare a far parte delle tecniche utilizzate per produrre cartografia digitale pronta all'uso in un GIS.

Cook P. e Mukerjee A. (1996), "India Railways GIS-based decision-support system", atti della Conferenza Internazionale utenti ESRI.

Uno dei primi sistemi informativi territoriali sviluppati ed adottati per una compagnia ferroviaria. Gli obiettivi erano soprattutto di supporto alla fase di pianificazione, in previsione di una futura e forte espansione della rete gestita dalla compagnia. Un'importante obiettivo era la valutazione e la comparazione delle alternative decisionali per affrontare il nuovo mercato prospettatosi. Viene fatto riferimento all'analisi costi benefici ed alla metodologia di creazione del database territoriale.

Crouse A. (1998), "Transportation Data Viewer: Development of a Simple Transportation Data Viewing Tool Using ArcView GIS", atti della Conferenza Internazionale utenti ESRI.

L'articolo espone le funzionalità e gli obiettivi della creazione di un interfacca GIS per l'osservatorio della mobilità di un consorzio di municipalità californiane. L'interfaccia sorprende per la sua semplicità e snellezza.

D'Andrea a. e altri (1996), "Un SIT per la gestione delle infrastrutture viarie della Provincia di Enna", *MondoGis* , n°2.
L'articolo descrive il Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Enna, viene sottilineata l'importanza dell'organizzazione degli archivi e dei database, in modo che i dati siano facilmente consultabili e modificabili. Vengono descritte le funzionalità del SIT e le possibilità di elaborazione dei dati.

Fitzgerald J.W. e Brewington J. S. (1997), "A Rail Crossing Inventory GIS and Decision Support for the North Carolina Department of Transportation", atti della Conferenza Internazionale utenti ESRI.
Interessante descrizione dell'applicazione del GIS ArcVIew per la catalogazione, la manutenzione e la messa in sicurezza dei passaggi a livello dello Stato. Rilevante è la fase di costruzione del database, frutto dell'integrazione di tre strutture dati già esistenti (NCDOT, USDOT e AAR) e di rilevamenti topografici effettuati con l'ausilio di strumentazioni GPS. Per questa fase si è fatto ampio uso delle routine e degli scripts in linguaggio AVENUE per ArcView.

Geinter k. e Sonne P. (1997), "Using GIS in planning, production and analysis of public transpoptration", atti della Conferenza Europea Utenti ESRI.
L'articolo descrive le modalità di pianificazione del sistema di trasporto pubblici a Copenhagen. In particolare viene utilizzato il GIS ArcView con il motore di gestione dei dati SDE.

Jin S. e Freeman J. (1996), "Data integration and automation in Polk couny, Florida: transportation applications and lessons learned", atti della Conferenza Internazionale utenti ESRI.
L'articolo illustra l'importanza e la necessità di integrare dati provenienti da fonti diverse attraverso la creazione di database potenti con dati standardizzati.

Kollarits S. (1994), "Exploring mobility data in a GIS context. Problems of representation and a framework for analysis.", atti della quinta conferenza europea EGIS/MARI.
L'articolo descrive le funzionalità che devono essere sviluppate all'interno dei GIS per poter trattare agevolmente le matrici origine-destinazione e calcolare i percorsi a minimo tempo di percorrenza, tenendo conto degli attributi caratterizzanti la rete. Interessanti sono gli pseudocodici in linguaggio SQL per calcolare le matrici delle lunghezze dei percorsi dati i tempi di viaggio e le matrici origine-detinazione.

Krakiwsky E. J. (1994), "Innovations in vehicle tracking and navigation", *GPSWorld,* febbraio.
L'articolo descrive l'uso del GPS come moderno sistema di posizionamento veicolare.

Landis K. (1996), "Integrating dynamic segmentation into publication quality transportation maps", atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.
L'articolo descrive la segmentazione dinamica. Vengono definiti la route, il metodo di posizionamento, il sistema di identificazione degli elementi lineari, ecc.

Lynne C. (1999), "Cleaning house, monitoring Aurora's Sweeèer Fleet", *GPSWorld,* Aprile.
Interessante applicazione di un AVL per la gestione in tempo reale dei mezzi speciali per la pulizia delle strade. Il sistema di comunicazioni trasmette oltre la posizione, anche informazioni riguardo allo stato meccanico del mezzo provenienti da sensori. In questo modo il centro di controllo può allocare dinamicamente la flotta, monitorare l'effettivo stato di funzionamento dei veicoli e verificare l'operato dei conducenti.

Maat C. (1997), "Location of rail terminals ", atti della Conferenza Europea Utenti ESRI.
Viene descritto un modello, basato sulla topologia a rete, per la valutazione dell'accessibilità territoriale alle stazioni ed il calcolo della posizione ottimale di nodi e

scambi intermodali e multimodali. Pensato soprattutto per il trasporto merci tramite treno ed automezzi pesanti in Olanda.

Manson P. (1998), "Embeddable GPS for GIS applications", atti della Conferenza Europea Utenti ESRI.
L'articolo descrive una collezione di controlli ActiveX e di oggetti OLE creata dalla Trimble (PathFinder development kit) che permettono di integrare facilmente le tecnologie GIS e GPS. In particolare il tool PathFinder, se inserito in un ambiente di sviluppo come MapObjects ed il Visual Basic, dà la possibilità di configurare il firmware dei ricevitori, riceverne i dati e convertirli nei sistemi di coordinate appropriati. Utilizzato con i ricevitori Trimble Pathfinder Pro XR e XRS, il software consente di disegnare in tempo reale mappe direttamente in formato shapefile e di correggerle poi in *post processing*, raggiungendo una precisione centimetrica.

Pantall B. et altri (1999), "CATS on the prowl, improving public transit in Perth", *GPSWorld, Aprile.*
Applicazione di un sistema AVL per la distribuzione dell'informazione all'utenza degli autobus urbani di Perth, Australia, tramite pannelli a messaggio variabile installati alle fermate. E' sottolineata e documentata l'importanza dell'uso dei sistemi di *dead reckoning* ad integrazione del GPS in ambiente urbano.

Shovic J. (1999), "Real time sensor data input in GIS based system", atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.
Le potenzialità dell'uso integrato di software GIS e sensori dinamici vengono illustrate ed esemplificate mediante la realizzazione di un applicazione appositamente implementata sfruttando il motore di MapObjects in ambiente Visual C++.

Smuthny J. (1996), “Urban geographic System of rail transport using ArcInfo” atti della Conferenza Europea Utenti ESRI.
L’articolo descrive come usare un GIS per pianificare un sistema di linee tranviarie e ferroviarie in ambiente urbano. Viene accennata anche la gestione dei dati riguardanti le infrastrutture accessorie ed i flussi di domanda/offerta.

Sung Lee et altri (1999), “A web-based bus information system”, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.
L’articolo descrive un sistema informativo per gli utenti diffuso sul Web negli USA. Il sistema, implementato con MapObject, non fornisce solo gli orari degli autobus, ma aiuta anche l’utente nella ricerca del mezzo giusto per il percorso da effettuare, segnala le fermate ed esegue analisi di prossimità.

Thorlacius Per (1998), “Time and Space Modeling of Public Transport Systems Using the New Features of the ArcInfo Version 7.1 ARC NETWORK Mmodule”, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.
Viene presentato un modello per i calcolo e l'ottimizzazione dei di attesa dei mezzi pubblici alle fermate. Vengono ottimizzati anche i tempi di viaggio, il numero di coincidenze, i tempi di cambio di mezzo. I calcoli vengono effettuati con la definizione di una struttura di riferimento dinamico all'interno della rete di trasporto, che considera anche la dimensione temporale, mediante il sofware GIS ArcInfo. Interessanti sono gli pseudocodici riportanti le metodologie di calcolo, implementabili in un qualunque linguaggio di programmazione.

Vladimiroff B. (1998), “IMS case study-Environmental Data Viewer (EDV)”, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.
L’obiettivo del progetto EDV è quello di diffondere dati e mappe di ArcView in Internet. Qui vengono illustrate le funzionalità GIS che vogliono essere messe a disposizione dell’utente attraverso il Web.

Von Rimscha S. (1998), “There’ll be one along in a minute”, *GIS Europe*, giugno.
L’articolo descrive un sistema AVL per monitorare una flotta di autobus in UK. Il sistema è stato implementato per fornire informazioni in tempo reale ai viaggiatori.

Von Rimscha S. (1998),”Towards a frictionless future”, *Gis Europe*, settembre.
L’articolo descrive un GIS implementato in Germania per archiviare i dati riferiti alle infrastrutture ferroviarie in vista del progetto di realizzare nel 2005 un servizio ad alta velocità da Amburgo a Berlino.

Wechsler J. (1990) “Planes trains, and automobiles”, *GPSWorld*, marzo-aprile.
L’articolo descrive le potenzialità del GPS nel posizionamento statico e dinamico.

Wilcox D. L. (1996), “A pragmatic approach to the cost-benefit anaysis of GIS”, atti della Conferenza Internazionale Utenti ESRI.
L’articolo mostra i benefici e i costi dell’implementazione ed utilizzo di un GIS attraverso un’analisi costi-benefici.

PAGINE WEB CONSIGLIATE

http://www.autodesk.com
Web della casa produttrice di molti software CAD e del GIS AutoCADMap, particolarmente indicato per la divulgazione di mappe vettoriali via Internet.

http://www.divitech.com
Web aziendale della società distributrice di Route Planner, il sistema di navigazione assistita italiano.

http://www.elda.it
Società di Bologna produttrice di cartografia digitale e di sofware per i catasti stradali (ALICE). La società è in grado di effettuare rilevamenti topografici di precisione grazie a DAVIDE (Data Acquisition Vehicle with Inertial and DGPS Equipment).

http://www.esri.com
Casa produttrice dei più diffusi software GIS, da ArcInfo a ArcView. Sono presenti molte pagine di supporto agli utenti registrati, mailing list, demo scaricabili, press release ed ogni tipo di supporto tecnico.

http://www.esri.com/library/glossary/glossary.html
Glossario (in inglese) dei termini di uso comune nel campo dei GIS.

http://www.esri.com/library/userconf/proc95/prochome.html ESRI
International User Conference - May 22-26, 1995

http://www.esri.com/library/userconf/europroc96/WELCOME.HTM
ESRI European User Conference - October 2-4, 1996

http://www.esri.com/library/userconf/proc96/WELCOME.HTM
ESRI International User Conference - May 20-24, 1996

http://www.esri.com/library/userconf/europroc97/index.html
ESRI European User Conference - September 29-October 1, 1997

http://www.esri.com/library/userconf/proc97/home.htm
ESRI International User Conference - July 8-11, 1997

http://www.esri.com/library/userconf/proc98/home.htm
ESRI International User Conference - July 27-31, 1998

http://www.esri.com/library/userconf/europroc98/home.htm
1998 ESRI European User Conference - October 7-9 1998 Florence, Italy

http://www.esri.com/library/userconf/proc99/home.htm
ESRI International User Conference 1999

http:// www.esri.it
Sito della filiale italiana della ESRI. Non tutto il materiale è tradotto in italiano, molti riferimenti sono link alle pagine della compagnia madre americana.

www.ferrovienord.it/
Pagine Web delle Ferrovie Nord Milano.

http://www.fgc.catalunya.net/esp
Sito della compagnia FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya).

http://www.gfocus.com
Casa sviluppatrice di sofware di gestione flotte e di moltre altre applicazioni che sfrutttano l'integrazione delle tecnologie GPS e GIS. Interessante la demo di TrainTrac, per il monitoraggio di treni, realizzata, tra l'altro con MapObjects. La compagnia è patner della esri e sviluppa estensioni su misura per i GIS più diffusi.

http://www.gisitalia.it
Casa patner della esri italia nella produzione di software GIS personalizzati e di estensioni ai pacchetti esistenti.

http://www.gistrans.com
Società indipendente produttrice di software GIS specifico per i trasporti (GIS-T) e di soluzioni informative per i sistemi di trasporto intelligenti (ITS). Molto interessanti sono gli studi di caso (applicazioni di GIS-T) realizzati in collaborazione con il dipartimento federale delle autostrade americano (FHWA, Federal Highway Administration), scaricabili nell'area public. E' inoltre presente nell'area download una documentazione tecnica che evidenzia le lacune dei GIS nel trattare i dati necessari ai modelli di mobilità e trasporto

http://www.intergraph.com
Compagnia leader nella produzione di software GIS.

http://www.knosos.es
Sito della KNOSOS, società di Ingegneria delle telecomunicazioni di Barcellona pioniere nella realizzazione ed installazione dei sistemi AVL

http://www.mapinfo.com
Casa produttrice di software GIS molto diffusi.

http://www.ncgia.org
Sito dell'americano NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) ove sono presentati tutti i progetti più innovativi per il miglioramento della scienza dell'informazione geografica. In particolare segnaliamo le sezioni:

- VITAL (Vehicle Intelligence and Transportatio Analysis Laboratory) **http://www.ncgia.org/vital,** che presenta lo stato dell'arte della tecniche di AVL e dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS).
- **http://www.ncgia.ucsb.edu/vital/research/lrp/ncgia.html** LRMS (Linear Referencing Profile) quadro generale e limiti delle tecniche di *geocoding, map matching e dynamic segmenttion.*
- **http://www.ncgia.ucsb.edu/vital/research/reports.html** Interessanti articoli e relazioni provenienti da atti di conferenze e press release. Segnaliamo in particolare Goodchild (1999), "GIS and transportation: status and challenges" International Workshop on GIS-T and ITS, Chinese University of Hong Kong) che tratta le lacune dei GIS nel trattamento dei dati dinamici.

http://www.odyssey.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94toc.htm
EGIS/MARI ’94 Fifth Euoropean Conference and exhibition on Geographical Information system

http://www.provincia.bologna.it/territorio/gis/glossario.html
Glossario (in italiano) dei termini tecnici riguardanti i GIS realizzato dalla Provincia di Bologna, un ente locale pioniere nell'utilizzo dei sistemi informativi geografici.

http://www.teleatlas.com
Compagnia europea leader nella produzione di cartografia digitale e di software GIS per la navigazione assistita.

http://www.trimble.com/mpc/avl/about.htm
Guida agli AVL nel sito della prima casa produttrice di ricevitori GPS.